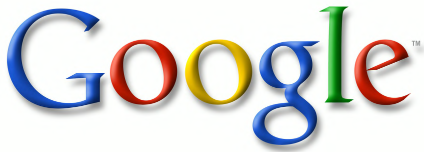


Acerca de este libro

Esta es una copia digital de un libro que, durante generaciones, se ha conservado en las estanterías de una biblioteca, hasta que Google ha decidido escanearlo como parte de un proyecto que pretende que sea posible descubrir en línea libros de todo el mundo.

Ha sobrevivido tantos años como para que los derechos de autor hayan expirado y el libro pase a ser de dominio público. El que un libro sea de dominio público significa que nunca ha estado protegido por derechos de autor, o bien que el período legal de estos derechos ya ha expirado. Es posible que una misma obra sea de dominio público en unos países y, sin embargo, no lo sea en otros. Los libros de dominio público son nuestras puertas hacia el pasado, suponen un patrimonio histórico, cultural y de conocimientos que, a menudo, resulta difícil de descubrir.

Todas las anotaciones, marcas y otras señales en los márgenes que estén presentes en el volumen original aparecerán también en este archivo como testimonio del largo viaje que el libro ha recorrido desde el editor hasta la biblioteca y, finalmente, hasta usted.

Normas de uso

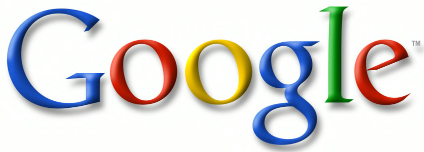
Google se enorgullece de poder colaborar con distintas bibliotecas para digitalizar los materiales de dominio público a fin de hacerlos accesibles a todo el mundo. Los libros de dominio público son patrimonio de todos, nosotros somos sus humildes guardianes. No obstante, se trata de un trabajo caro. Por este motivo, y para poder ofrecer este recurso, hemos tomado medidas para evitar que se produzca un abuso por parte de terceros con fines comerciales, y hemos incluido restricciones técnicas sobre las solicitudes automatizadas.

Asimismo, le pedimos que:

+ *Haga un uso exclusivamente no comercial de estos archivos* Hemos diseñado la Búsqueda de libros de Google para el uso de particulares; como tal, le pedimos que utilice estos archivos con fines personales, y no comerciales.
+ *No envíe solicitudes automatizadas* Por favor, no envíe solicitudes automatizadas de ningún tipo al sistema de Google. Si está llevando a cabo una investigación sobre traducción automática, reconocimiento óptico de caracteres u otros campos para los que resulte útil disfrutar de acceso a una gran cantidad de texto, por favor, envíenos un mensaje. Fomentamos el uso de materiales de dominio público con estos propósitos y seguro que podremos ayudarle.
+ *Conserve la atribución* La filigrana de Google que verá en todos los archivos es fundamental para informar a los usuarios sobre este proyecto y ayudarles a encontrar materiales adicionales en la Búsqueda de libros de Google. Por favor, no la elimine.
+ *Manténgase siempre dentro de la legalidad* Sea cual sea el uso que haga de estos materiales, recuerde que es responsable de asegurarse de que todo lo que hace es legal. No dé por sentado que, por el hecho de que una obra se considere de dominio público para los usuarios de los Estados Unidos, lo será también para los usuarios de otros países. La legislación sobre derechos de autor varía de un país a otro, y no podemos facilitar información sobre si está permitido un uso específico de algún libro. Por favor, no suponga que la aparición de un libro en nuestro programa significa que se puede utilizar de igual manera en todo el mundo. La responsabilidad ante la infracción de los derechos de autor puede ser muy grave.

Acerca de la Búsqueda de libros de Google

El objetivo de Google consiste en organizar información procedente de todo el mundo y hacerla accesible y útil de forma universal. El programa de Búsqueda de libros de Google ayuda a los lectores a descubrir los libros de todo el mundo a la vez que ayuda a autores y editores a llegar a nuevas audiencias. Podrá realizar búsquedas en el texto completo de este libro en la web, en la página `http://books.google.com`



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

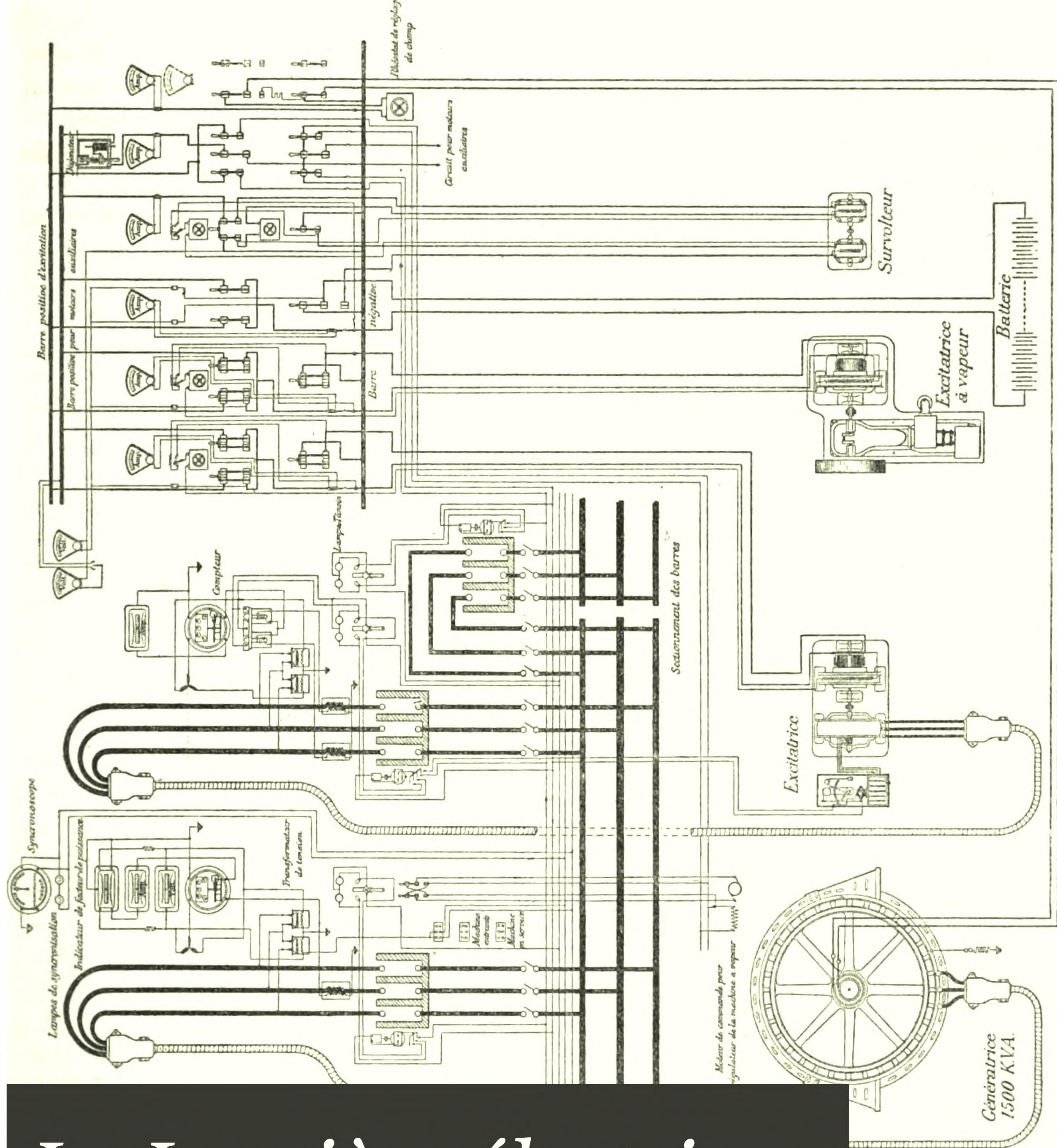
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

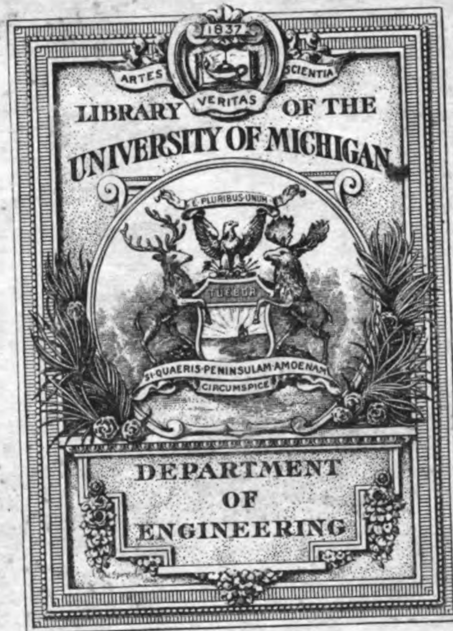
À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



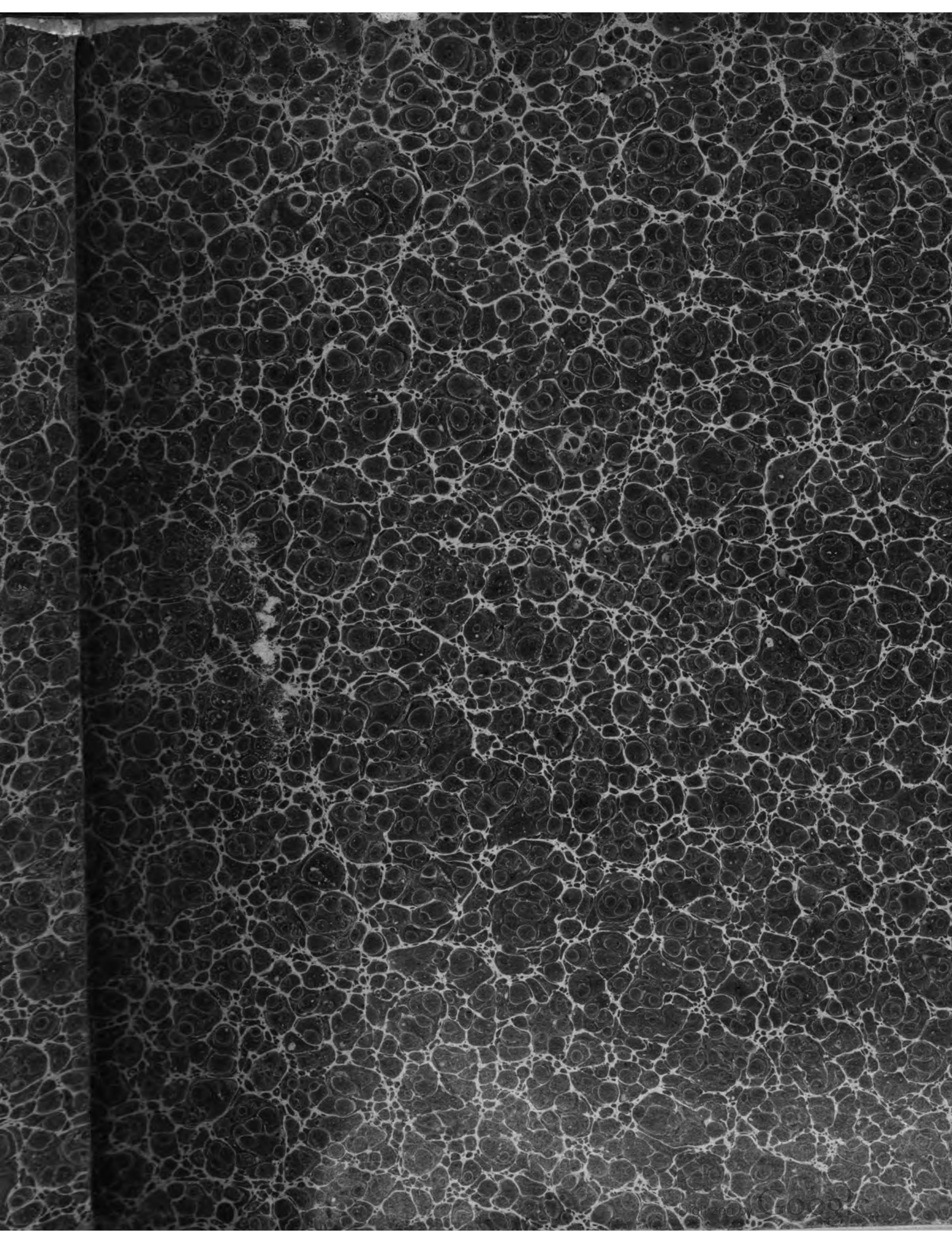
La Lumière électrique

Digitized by Google



Returned to General Library

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google

TK
2
.L95

n.s.v.37

Digitized by Google

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

Digitized by Google

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. BLONDEL
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS
ET CHAUSSÉES.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

J. BLONDIN
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXXVII

4e TRIMESTRE 1903

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Digitized by Google

Digitized by Google

Tome XXXVII — Samedi 3 Octobre 1903. — 10e Année. — N° 40

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

PROGRÈS RÉCENTS DANS L'ÉTUDE DU MAGNETISME [1]

I. Propriétés générales. Courbes d'aimantation. Cycles d'hystérésis

52. Fer presque pur. — Le carbone joue certainement un grand rôle dans les variations des propriétés magnétiques des fers; il serait important, pour débrouiller ce rôle, de connaître les propriétés du fer pur; malheureusement, les cristaux de fer obtenus jusqu'ici sont trop petits pour qu'on puisse les étudier (3), et les seuls renseignements qu'on ait sont les résultats donnés par des échantillons de fer ordinaire présentant le moins possible d'impuretés.

M. E. Wilson [2] a pu étudier un anneau de fer doux à section rectangulaire, contenant seulement $\frac{1}{1\,000}$ de manganèse, $\frac{13}{100\,000}$ de soufre et des traces de carbone et de silicium. Cet anneau a été étudié tel qu'il avait été obtenu, puis après recuit; le recuit a augmenté la perméabilité [3] et diminué l'hystérésis; les valeurs de μ sont très grandes (maximum

[1] Au cours de cet article, j'aurai parfois à renvoyer le lecteur à un article antérieur sur *La Constitution des fers carburés* (*Écl. Él.*, t. XXXVI, p. 441); pour faciliter ces renvois, les paragraphes du présent article sont numérotés à la suite de ceux du premier, bien que les deux articles soient en somme indépendants. — J'examine ici les travaux des quatre ou cinq dernières années, en rappelant seulement des résultats antérieurs ce qui est utile pour l'intelligence des travaux récents; on trouvera un exposé de ces résultats antérieurs dans : *Le magnétisme du fer*, collection Scientia, lib. Naud, 1899.

[2] E. Wilson, *The Electrical Review*, p. 313; 1898. *E. E.*, t. XVIII, p. 39; 1899. Ou *Proc. of the roy. Soc.*, t. LXII, p. 369-376; 1898.

[3] Dans tout cet article, pour simplifier, je représenterai les quantités les plus importantes par les lettres qui les désignent d'ordinaire : induction magnétique, B; intensité d'aimantation, I; champ magnétisant, H; per-

313373

Digitized by Google

5 480 pour H = 1,66), mais ce qui est digne de remarque, c'est que les valeurs de W ne sont pas les plus faibles qu'on ait observées; certaines tôles pour transformateurs donnent des valeurs de W plus faibles à B_{max} égale, et nous verrons plus loin que l'adjonction de quelques centièmes de silicium ou d'aluminium au fer rend B plus grand à H égal et W plus faible que pour ce fer presque pur.

Voici quelques valeurs numériques obtenues avec l'anneau de fer presque pur recuit :

H	0,783 gauss	1,14	1,17	1,42	1,66	2,23	2,68	4,74	9,24
B	1965	4840	5150	7500	9100	11 460	12 500	14 270	15 270
μ	2510	4225	4400	5280	5480	5140	4660	3010	1650
I	156,5	386	411	597	725	915	1000	1140	1220
W	262 ergs par cc	»	1080	»	2490	»	»	»	»
Hc	0,50	»	0,73	»	0,90	»	»	»	1,13

Les valeurs de W et de H_c sont celles correspondant aux cycles dont les limites sont les valeurs correspondantes de H et de B.

M. Wilson a constaté pour ce fer une viscosité magnétique très grande; je reviendrai sur ce sujet à propos des relations entre l'aimantation et le temps.

53. Fers et aciers. — On dit en général d'un fer ou acier qu'il est doux quand B (ou I) croît rapidement avec H et que H_c est faible; il résulte de la première condition que la perméabilité μ est très élevée, avec un maximum très accusé, et de la deuxième que W (mesurée par l'aire de la boucle d'hystérésis) est faible.

On dit au contraire que la substance est dure lorsque B croît plus lentement avec H, d'où des valeurs plus faibles pour μ, et que H_c est grand, d'où des valeurs considérables de W.

Ces deux propriétés (variation de B avec H, valeur de H) sont liées l'une à l'autre, car toutes deux sont commandées par les causes qui rendent plus ou moins difficile le mouvement des aimants particulaires sous l'action du champ.

Un acier doux ou dur au point de vue magnétique l'est aussi au point de vue des propriétés mécaniques, c'est-à-dire qu'il est ou facile ou difficile à travailler.

Cette différence de propriétés dépend de la composition et des traitements thermique et mécanique de chaque échantillon [1]; pour mettre quelque ordre dans l'exposé des résultats, nous nous occuperons d'abord des fers et aciers supposés à peu près à leur état stable à la température ordinaire; c'est le cas pour les fers pudlés, pour les fers ou aciers produits par fusion et refroidis assez lentement (à l'air ou dans des moules), et surtout pour les substances (fers, aciers, tôles), qui ont été recuites à haute température et refroidies ensuite lentement. Nous supposerons de plus que ces fers carburés ne contiennent pas une grande proportion de corps autres que le fer et le carbone.

Pour ces fers carburés, la valeur de B pour un H donné est d'autant plus grande qu'il y

---

méabilité magnétique, μ; intensité d'aimantation rémanente, I_r; champ coercitif, H_c; énergie d'hystérésis par cycle, W. Je rappelle les relations :

$$B = H + 4\pi I, \qquad \mu = \frac{B}{H}, \qquad W = \frac{1}{4\pi}\int H.dB.$$

[1] Il est bien désirable que les expérimentateurs donnent la composition et l'histoire thermique et mécanique des échantillons dont ils étudient les propriétés magnétiques ; les résultats obtenus sont alors bien plus utiles.

Digitized by Google

a moins de carbone; H_c et par suite l'hystérésis augmentent avec la teneur en carbone; il résulte de là que μ est d'autant plus faible et a un maximum d'autant moins élevé et moins net qu'il y a plus de carbone. Tels sont du moins les résultats généraux; des différences de traitement même faibles peuvent conduire à des résultats différents; de plus nous venons de voir que du fer à peu près pur peut être moins perméable qu'une tôle renfermant un peu de carbone.

Voici quelques exemples numériques (1) :

Valeurs de B correspondant à différentes valeurs de H; chaque nombre est la moyenne des valeurs obtenues avec environ 10 échantillons, ayant tous à peu près la même teneur en carbone (déduits du travail de Parshall, où les résultats sont donnés en détail).

	0,23 p. 100 DE CARBONE	0,36 p. 100	0,98 p. 100
B pour H = 15	12 500	10 100	»
» 25	14 100	12 400	9 000
» 50	15 800	14 500	12 300
» 75	16 700	15 500	13 900

Valeurs de B_{max}, de H_c et de W correspondant à des cycles identiques de limites $H = \pm 45^{gauss}$, pour différents fers recuits dans les mêmes conditions; on a indiqué aussi les valeurs de μ pour H = 8 (Barrett, Brown et Hadfield) (W est toujours donné en ergs par centimètre cube).

PROPORTION DE CARBONE	B POUR H = 45	H_c	W	μ POUR H = 8
0,03 p. 100	16 800	1,66	10 760	1 625
0,05 »	15 720	1,66	11 300	1 500
0,58 »	15 610	2,56	22 200	1 035
1 »	14 000	6,43	32 750	654
1,25 »	14 000	6,43	33 330	375

L'aimantation rémanente I_r ne varie pas d'une manière nette avec la proportion de carbone; elle a des valeurs voisines pour des proportions de carbone très différentes; aussi c'est surtout H_c qui influe sur l'hystérésis. Nous verrons plus loin que ce qui importe surtout pour les aimants permanents, c'est la stabilité de l'aimantation rémanente, qui dépend de H_c.

La valeur de H pour laquelle μ est maximum ne varie pas non plus d'une manière nette avec la teneur en carbone; tout au plus peut-on dire qu'elle est faible pour les substances pour lesquelles le maximum de μ est très élevé, et plus grande pour les substances pour lesquelles le maximum de μ est au contraire peu élevé. Voici quelques nombres déduits des

(1) Voici les principales sources récentes de données numériques sur les fers industriels : PARSHALL, *Proceedings of the Inst. of civil Engineers*, 19 mai 1896. — SCHMIDT, Mesures faites à la Reichsanstalt de Charlottenburg, *Zeitschrift f. Elektrotechn.*, t. XVI, p. 70; 1898. *E. E.*, t. XVIII, p. 304; 1899. — BARRETT, BROWN et HADFIELD, *Journ. of the Inst. of Electrical Engineers*, t. XXXI, p. 674-728; 1902. *E. E.*, t. XXXII, p. 253; 1902. — M. Schmidt a réuni un grand nombre de données intéressantes dans une série d'articles parus dans : *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. V, p. 205, 249, 305, 392 e 493, 1898 et 1899 et réunis en volume : *Magnetische Untersuchungen*, Hall; 1900; ces articles ont été analysés dans: *E. E.*, t. XX, p. 141; 1899. — V. aussi le rapport de M. DU BOIS au *Congrès de Physique de 1900*.

Digitized by Google

données de M. Schmidt, et représentant, pour différents fers, le maximum de μ et la valeur de H pour laquelle il est atteint :

μ_{max}	4 450	3 900	3 500	2 800	2 760
H	1,57	2,6	2,3	2,14	3,6

54. Au point de vue pratique, on a besoin de fers de haute perméabilité et de faible hystérésis; d'après ce qui précède, moindre est la proportion de carbone, meilleur est le fer, toutes choses égales d'ailleurs. Tous les exemples numériques donnés correspondent à des échantillons recuits; on gagne toujours en soumettant au recuit les aciers en bloc ou les tôles tels qu'ils sont obtenus : le recuit relève un peu l'induction magnétique, mais surtout il diminue nettement H_c et par suite W.

55. *Actions mécaniques.* — Les actions mécaniques ont pour effet général de diminuer la valeur de B correspond à un H donné, et d'augmenter H_c et par suite W; les propriétés magnétiques sont ainsi rendues plus mauvaises au point de vue pratique. Il est inutile de donner de nouveaux exemples de cet effet bien connu et d'importance très variable. On sait qu'un recuit peut rendre à peu près au métal ses propriétés magnétiques primitives. D'après l'allure des transformations des fers carburés, on doit recuire à une température supérieure au point de transformation pendant un temps assez long, mais cependant pas exagéré. et laisser refroidir lentement.

56. Aciers trempés. Aimants permanents (¹). — L'effet important de la trempe au point de vue des propriétés magnétiques est d'augmenter H_c, et par suite de rendre plus stable l'aimantation rémanente; cet effet s'exerce surtout quand la teneur en carbone est supérieure à 0,5 ou 0,6 p. 100, mais il existe aussi pour les aciers moins carburés, d'autant plus accusé qu'il y a plus de carbone, de sorte qu'il n'y a pas de limite bien nette entre les aciers trempants et non trempants; d'ailleurs, la teneur en carbone à partir de laquelle la trempe est bonne varie avec la proportion de substances étrangères.

Quant à la valeur de l'aimantation rémanente I_r elle-même, elle est en général peu altérée par la trempe quand il y a beaucoup de carbone et diminuée quand il y en a peu, de sorte que, pour les aciers après trempe, elle est d'autant plus grande que la teneur en carbone est plus grande, et à peu près constante pour les fortes teneurs en carbone.

D'après ce que nous avons vu (35) il faut pour obtenir la trempe chauffer l'échantillon au-dessus de la région de transformation. Voici quelques nombres déduits des expériences de Mme Curie et se rapportant à des aciers de même provenance, contenant peu de substances autres que le carbone, et ayant subi la trempe dans les mêmes conditions :

PROPORTION DE CARBONE	0,06 p. 100	0,20 p. 100	0,49 p. 100	0,84 p. 100	1,20 p. 100
Champ coercitif H_c.	3	11	20	50	50
Aimantation rémanente I_r.	24	110	200	400	400

(¹) Mme Curie, *Bull. de la Soc. d'Encouragement pour l'industrie nationale*, (5), t. III, p. 36; 1898 et *E. E.*, t. XV, p. 471 et 501 et t. XVI, p. 117; 1898. — Christoni et de Vecchi, *Il nuovo Cimento*, t. VI, p. 216, 1897; *E. E.*, t. XIV, p, 257; 1897. *R. Acc. di Modena*, (3), t. II, p. 125 et 272, 1901; *E. E.*, t. XXVII, p. 147; 1901. — V. Guillet, *E. E.*, t. XVIII, p. 441. 1899. — Osmond, *C. R. de l'Acad. des Science*, t. CXXVIII, p. 1513, 1899; *E. E*,, t. XX, p. 33; 1899. — Franck, *Drude's Ann. der Physik*, t. II, p. 338; 1900, *E. E.*, t. XXV, p. 91; 1900. — Holitscher, *Drude's Ann.*, t. III, p. 683, 1900; *E. E.*, t. XXVII. p. 229; 1901. — Fromme, *Drude's Ann.*, t. IV, p. 853, 1901; *E. E.*, t. XXVII, p. 231; 1901. — Klemencic, *Drude's Ann.*, t. IV, p. 116; t. VI, p. 174 et 181. 1901; *E. E.*, t. XXVII, p. 148 et t. XXIX, p. 377, 1901. — Abt, *Drude's Ann.*, t. VI, p. 774; 1901. — Ascoli, *Il Nuovo Cimento*, t. III, p. 5; 1902 ou l'*Elettricista*, t. X, p. 255, 1901; *E. E.*, t. XXXI, p 373 et t. XXXII, p. 99; 1902.

Digitized by Google

Mme Curie a trouvé que lorsqu'il y a peu de carbone (0,06 p. 100) H_c et I_r croissent avec la température de trempe; pour 0,2 p. 100, la température de trempe a paru à peu près indifférente; pour les aciers plus carburés, H_c et I_r décroissent au contraire un peu à mesure que la température de trempe croît; ce résultat concorde bien avec le fait que les trempes extrêmes des aciers les plus carburés sont favorables à la production d'austénite peu magnétique (M. Osmond, 20). La conclusion pratique est que pour obtenir de bons aciers à aimants permanents il ne faut, pour la trempe, dépasser que de peu la région de transformation.

Nous avons vu l'effet d'un *revenu*, on recuit à température peu élevée, sur les aciers trempés (32, 36) : cet effet est un retour incomplet vers l'état stable, d'autant plus incomplet que la température du revenu est plus faible. Mme Curie a constaté qu'un revenu à 200° diminue beaucoup H_c (de moitié par exemple); le revenu à 100° diminue encore H_c de 12 à 13 p. 100; pourtant, un revenu est utile pour l'obtention d'aciers à aimants permanents, parce qu'il empêche la modification lente en fonction du temps qui se produit à la température ordinaire sur les aciers trempés non revenus, et qui produirait une variation du moment magnétique d'aimants faits avec ces aciers. Il faut se contenter d'un revenu assez prolongé (24 heures) à 60° ou 70°, qui ne diminue H_c que de 1 à 3 p. 100.

57. Il est à remarquer que cette modification lente à la température ordinaire, dite *effet résiduel de trempe*, paraît à peu près indépendante de l'aimantation elle-même; en effet, on observe une diminution du moment magnétique d'autant plus marquée que l'aimantation est faite plus tôt après la trempe; si on attend assez longtemps avant de faire l'aimantation, il n'y a plus de diminution sensible du moment; enfin, si on a suivi la diminution en fonction du temps pour un barreau aimanté aussitôt après la trempe et si on observe cette diminution pour des barreaux identiques préparés dans les mêmes conditions, mais pour lesquels l'aimantation n'est réalisée qu'un certain temps après la trempe, on trouve que chaque nouvelle courbe de diminution reproduit à peu près la première à partir du point correspondant à ce temps (Klemencic).

58. Nous venons de voir les précautions à prendre pour éviter la variation d'un aimant permanent abandonné à lui-même et soustrait à toute influence perturbatrice : attendre pour faire l'aimantation que l'effet résiduel de trempe se soit produit, ou l'accélérer par un revenu à température peu élevée. Mais il faut encore obtenir une stabilité aussi grande que possible contre les perturbations extérieures, chocs, vibrations, champs magnétiques; le champ coercitif mesure à peu près cette stabilité, puisque c'est l'intensité du champ négatif auquel il faut soumettre l'aimant pour annuler son aimantation. Nous avons vu comment varie H_c avec les conditions de la trempe et la proportion de carbone; l'addition de tungstène et de molybdène améliore les aciers à aimant (I_r dépasse 500, H_c atteint 70).

On constate en effet que la diminution de l'aimantation d'un aimant permanent est d'autant plus faible que le champ coercitif est plus grand : des chutes sur un pavé de grès dur diminuent l'aimantation de barreaux aimantés, d'environ 80 p. 100 pour 0,06 p. 100 de carbone, 45 p. 100 pour 0,2 (la limite n'était pas encore atteinte), 23 p. 100 p. 0,5, enfin de 3 à 5 p. 100 pour les aciers plus carburés.

Si après avoir aimanté le plus possible un acier trempé on diminue son aimantation de quelques centièmes par l'action d'un champ négatif, on diminue et même on annule presque l'action de chutes postérieures, et c'est un moyen plus correct d'amener un aimant à un état stable vis-à-vis des chocs que d'utiliser des chocs eux-mêmes.

59. *Les variations de la température ordinaire* produisent sur le moment magnétique des aimants permanents une légère variation : le moment magnétique décroît de quelques dix-

Digitized by Google

millièmes par degré quand la température croît; cette variation dépend d'ailleurs de la forme de l'aimant, et est d'autant plus faible que l'aimant se rapproche plus de la forme fermée (aimants en fer à cheval).

60. Il est à remarquer que le *fer peu carburé doux* (*recuit*) a une aimantation rémanente en général plus grande que les aciers trempés; d'ailleurs il ne subit pas, une fois aimanté, de variation analogue à celle due à l'effet résiduel de trempe; si donc un aimant permanent de fer doux est soustrait soigneusement à toute action perturbatrice extérieure, il constitue un excellent aimant permanent, et dans certains appareils de tels aimants pourraient rendre des services. Mais le champ coercitif du fer doux est très faible et par suite son aimantation sensible au moindre choc, même aux vibrations du sol : cette instabilité le rend inapplicable comme aimant permanent dans la plupart des cas.

61. M. V. Guillet a fait d'intéressantes observations sur *la trempe réalisée dans le champ magnétiqne même*; l'eau dans laquelle on plonge l'aimant se trouve dans la bobine magnétisante, de sorte que, au moment où on y introduit le barreau porté au rouge, l'aimantation et la trempe se produisent en même temps; l'aimantation rémanente obtenue est plus grande que celle obtenue en réalisant d'abord la trempe puis l'aimantation (de $\frac{3}{7}$ de sa valeur par exemple). On augmente encore l'intensité de l'aimantation rémanente en comprimant le barreau pendant qu'il est chauffé au rouge blanc; on réalise ceci en plaçant le barreau dans un tube en dehors duquel il dépasse un peu, et en martelant cette partie qui dépasse le tube. Voici quelques nombres mesurant, en unités arbitraires, l'aimantation rémanente obtenue avec des barreaux analogues ayant subi soit la trempe ordinaire, soit la trempe dans le champ, soit enfin la trempe dans le champ après compression.

Trempe ordinaire.	45	65	90	100
Trempe dans le champ	72	100	130	170
Trempe dans le champ après compression.	82	125	150	190

62. L'*action des chocs* sur les aimants a souvent paru confuse; on observe le plus souvent une diminution de l'aimantation, mais, dans certains cas, une augmentation. M. Ascoli a fait à ce sujet des expériences nombreuses et méthodiques qui éclairent la question. Il définit, pour un cycle d'aimantation donné, une courbe neutre pour un choc déterminé, c'est-à-dire une courbe telle que le point représentatif de l'aimantation étant amené sur elle, le choc en question ne l'altère plus. Cette courbe est formée de deux branches ayant mêmes limites que la boucle d'aimantation, mais comprises à l'intérieur de celle-ci. Si on étudie des chocs de plus en plus forts, on trouve des courbes neutres dont les deux branches se rapprochent de plus en plus. Un point placé entre deux lignes neutres correspondant à un choc faible et à un choc fort représente un état magnétique qui éprouve des variations de sens contraires suivant qu'on fait agir un choc faible ou un choc fort; affaiblissement pour un choc fort, mais augmentation pour un choc faible. Cependant, si on fait agir plusieurs fois un certain choc, l'état obtenu est insensible aux chocs plus faibles.

Ce qui précède s'applique à l'aimantation temporaire; ce qui concerne l'aimantation permanente n'en est qu'un cas particulier; par exemple on peut amener cette aimantation à un état insensible aux chocs plus faibles qu'un choc donné, mais il faut sacrifier pour cela une

Digitized by Google

partie de l'aimantation qui est très grande pour le fer doux et petite pour l'acier, surtout trempé : nous retombons ainsi sur les résultats indiqués plus haut.

63. On obtient une aimantation rémanente très grande et très stable lorsqu'on réalise un dépôt de fer par électrolyse dans un champ magnétique ([1]); lorsqu'on supprime le champ magnétique après l'obtention du dépôt, celui-ci conserve une aimantation très sensiblement égale à celle qu'il a acquise pendant sa formation; si on fait agir alors un champ magnétique de sens inverse au premier, la diminution de l'aimantation est extrêmement lente; pour une certaine valeur du champ, l'aimantation se met brusquement à décroître très rapidement et passe bientôt à une valeur négative de même valeur absolue. Ainsi, le champ coercitif (25 à 30 gauss) exerce son action brusquement; on peut donc prévoir que l'aimantation, très stable, par rapport à des champs négatifs inférieurs à H_c, sera aussi très stable vis-à-vis des perturbations d'autre nature; en effet, les chocs sont à peu près sans action sur l'aimantation de ces dépôts.

Lorsque j'ai fait ces expériences, j'ai réalisé seulement des dépôts de fer assez minces sur laiton; mais en prenant comme substratum un fil fin de fer et en graduant l'électrolyse (suivant la surface de cathode) de manière que le dépôt soit bien adhérent, je crois qu'on pourrait obtenir ainsi de petits aimants permanents de propriétés très remarquables.

64. Il est intéressant de remarquer que le fer électrolytique, qui renferme presque exclusivement comme impureté de l'hydrogène, se comporte au point de vue magnétique comme un acier dur. Il semble que l'hydrogène ainsi joint au fer change profondément ses propriétés; par exemple, Roberts-Austen a étudié la vitesse de refroidissement d'un fer électrolytique ([2]); ce fer, chauffé, laisse dégager de l'hydrogène; à 1300°, tout dégagement d'hydrogène semble cesser; ce chauffage au-dessus de 1300° a été effectué quatre fois, et on aidait le dégagement en faisant le vide dans le tube en porcelaine qui servait pour le chauffage; or, même après, la courbe de refroidissement présente des particularités qu'on ne peut attribuer qu'à l'action de l'hydrogène.

65. Fontes. — Les propriétés magnétiques des fontes ont été dans ces derniers temps l'objet de moins de travaux que celles des aciers, sans doute parce que les noyaux des machines industrielles se font de plus en plus en acier, alors qu'autrefois on les faisait en fonte. L'induction magnétique y est nettement plus faible, à champ égal, que pour les fers ou aciers, dont elles se distinguent d'ailleurs par une beaucoup plus forte proportion de corps étrangers : les corps autres que le carbone, qui dans les aciers forment rarement plus de 1/2 p. 100, forment ici ordinairement de 2 à 4 p. 100; le carbone (de 2,8 à 4,3 p. 100 environ au total) y est surtout en graphite, le reste, ce qu'on appelle le carbone combiné, formant seulement de 0,2 à 0,9 p. 100 environ.

La proportion de carbone en graphite ne paraît pas avoir une grande influence sur les propriétés magnétiques, qui semblent fixées surtout par le carbone combiné : plus il y a de carbone combiné, plus μ est faible. Voici (fig. 1) les courbes donnant B en fonction de H pour les échantillons A, B, C dont la composition est donnée ci-après ([3]); la courbe A est la courbe inférieure, C la courbe supérieure.

([1]) Ch. Maurain, Propriétés des dépôts électrolytiques de fer obtenus dans un champ magnétique, *Journ. de Physique*, (3), t. X, p. 123-135; 1901. *E. E.*, t. XXVI, p. 212-222; 1901.

([2]) Roberts-Austen, 5e Rapport au Comité des alliages à l'Institution of mechanicals engineers of London, *Proc. of the Inst. of Mech. Engineers*, 9 fév. 1899; *Bull. de la Soc. d'Encouragement pour l'industrie nationale*, 1899, p. 458.

([3]) Schmidt, *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t. V, p. 504. 1899.

Digitized by Google

	A	B	C
Carbone combiné.	0,720 p. 100	0,565 p. 100	0,195 p. 100
Graphite.	3,300 —	2,950 —	3,290 —
Silicium	2,070 —	2,050 —	2,010 —
Soufre.	0,035 —	0,055 —	0,060 —
Phosphore.	0,850 —	0,805 —	0,988 —
Manganèse.	0,380 —	0,375 —	0,320 —

Nous avons vu (25) que la présence du *silicium* en quantité notable, facilite la formation de graphite dans les fontes et par suite diminue la quantité de carbone combiné : il résulte donc de ce que nous venons de voir que le silicium doit améliorer les propriétés magnétiques des fontes, toutes choses égales d'ailleurs. C'est ce que l'expérience vérifie ; par exemple, MM. Caldwell, Hipple et Hewitt [1] ont étudié des fontes Bessemer préparées dans les mêmes conditions, mais contenant une proportion de silicium qui varie de 1,82 à 4,62 p. 100 ; l'induction magnétique augmente régulièrement avec la teneur en silicium. Il resterait à chercher jusqu'à quel point cet effet est relié à l'action du silicium sur la répartition du carbone en graphite et carbone combiné ; d'après les auteurs, cette dernière action s'affaiblirait au-dessus de 3 p. 100 de silicium, tandis que l'augmentation de l'induction magnétique continue au-dessus de cette limite.

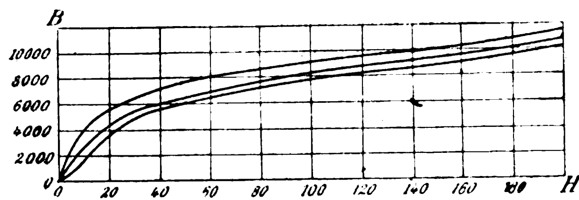


Fig. 1. — Inductiou magnétique de diverses fontes.

Le soufre et le manganèse agissent sur la répartition du carbone en sens inverse du silicium (25) ; le manganèse est généralement en proportion assez faible pour que son influence sur les propriétés magnétiques se manifeste peu ; le soufre est parfois en quantité assez grande pour altérer les propriétés magnétiques.

Le phosphore altère aussi les propriétés magnétiques, quand il y en a plus de 0,6 ou 0,7 p. 100.

66. Le recuit de la fonte vers 900° la rend plus malléable ; une partie du carbone combiné est transformée en graphite, et une partie du graphite est éliminée par oxydation (24). Ce recuit améliore beaucoup les propriétés magnétiques, une fonte rendue malléable par recuit prend même une induction magnétique bien plus grande qu'une fonte grise ordinaire de même composition, ce qui montre que le recuit agit profondément sur la nature et la structure des constituants.

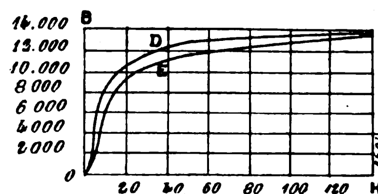


Fig. 2. — Induction magnétique de deux fontes recuites.

Voici (fig. 2) les courbes représentant B en fonction de H pour deux fontes recuites dont la composition est donnée dans le tableau de la page suivante (Schmidt).

67. *La trempe de la fonte* modifie ses propriétés magnétiques dans le même sens que pour l'acier ; la fonte trempée a été peu étudiée. Cependant, les aimants permanents massifs de forme assez complexe qui figurent dans certains appareils comme les ampèremètres et les galvanomètres Deprez-d'Arsonval semblent donner de bons résultats quand on les fait

[1] Caldwell, *Electrical World*, t. XXXIII, p. 619 ; 1898. *Zeitschrift fur Elektrochemie*, t. V, p. 385, 1899.

Digitized by Google

	D	E
Carbone combiné	0,500 p. 100	0,830 p. 100
Graphite	2,119 —	2,201 —
Silicium	0,578 —	0,930 —
Soufre	0,080 —	0,050 —
Phosphore	0,303 —	0,039 —
Manganèse	0,164 —	0,116 —

en fonte. M. O. Peirce ([1]) a étudié un grand nombre d'aimants en fonte trempée et les a comparés à des aimants d'acier de même forme; les noyaux de fonte étaient trempés, chauffés quelque temps à 100°, aimantés alors à saturation, puis tempérés par une série de chauffes à 100° avec retour à la température ordinaire; ce dernier traitement diminue l'aimantation d'environ 20 p. 100, mais l'aimantation restante est très stable. Le moment magnétique de ces aimants était alors à peu près le même en moyenne que celui d'aimants d'acier de même forme.

La variation du moment magnétique avec la température était d'environ 0,00056 par degré (moyenne entre 0 et 100°) pour les aimants de fonte rectilignes et seulement 0,00035 pour les aimants recourbés (0,00046 pour l'acier); il convient de remarquer que, comme pour l'acier d'ailleurs, le coefficient de variation croît avec la température, de sorte qu'à la température ordinaire il est plus faible que les valeurs précédentes (par exemple 0,00013 pour un des aimants en fer à cheval).

M. Peirce a remarqué que la trempe paraît bonne dans toute la masse de fonte, tandis qu'il est difficile d'obtenir une trempe uniforme d'un barreau d'acier.

68. Courbe normale d'aimantation. — L'existence de l'hystérésis empêche la définition précise par les expériences ordinaires de la courbe normale d'aimantation, c'est-à-dire de la courbe correspondant aux positions d'équilibre stable de tous les aimants particulaires sous l'action de champs magnétisants de différentes intensités. On peut essayer d'obtenir cette courbe en soumettant le barreau, en même temps qu'à l'action du champ, à des actions qui réduisent l'hystérésis; tous les phénomènes qui peuvent favoriser le mouvement des aimants particulaires agissent dans ce sens; on a obtenu la courbe normale si on trouve la même courbe à champ croissant et à champ décroissant.

Ce résultat peut être obtenu pour le fer doux; Ewing, produisant par choc des vibrations d'une tige de fer doux bien recuit soumis à l'action d'une bobine magnétisante, a obtenu à peu près la même courbe à la montée et à la descente ([2]) (cependant la courbe de retour est un peu au-dessus de l'autre). Cette courbe ne présente pas de point d'inflexion et monte très rapidement dès l'origine (fig. 3, où on a tracé aussi la courbe obtenue avec le même fil non soumis aux vibrations).

MM. Geroza et Finzi ([3]) sont arrivés au même résultat en faisant passer dans le fil de fer doux soumis longitudinalement au champ d'une bobine un courant alternatif, qui l'aimante transversalement et qui, changeant continuellement de sens, favorise aussi le mouvement

---

([1]) O. Peirce, *Proc. of the Amer. Acad. of Arts and Sciences*, t. XXXVIII, p. 551, fév. 1903. M. Peirce a étudié antérieurement la variation avec la température de l'aimantation d'aimants permanents d'acier, *Amer. Journ. of Science*, t. II, 1896 et t. V, 1898.

([2]) Ewing, *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 1885, p. 564. *Magnetic Induction in Iron*, p. 113.

([3]) Gerosa et Finzi, *Rendiconti del R. Istituto Lombardo*, t. XXIV, 1891. — Finzi, *The Electrician*, 1891, p. 672.

Digitized by Google

des particules. Avec le fer dur ou l'acier on obtient par l'un ou l'autre de ces procédés une atténuation, mais non la suppression complète de l'hystérésis.

Ces courbes normales d'aimantation montent beaucoup plus vite à partir de l'origine que les courbes ordinaires, et tendent vers la même limite. Pour les faibles valeurs du champ, la perméabilité magnétique $\mu = \frac{B}{H}$ calculée pour une courbe normale a ainsi des valeurs énormes, allant par exemple jusqu'à 60 000 ou 80 000. Souvent les noyaux magnétiques des machines industrielles sont soumises à des vibrations qui y réduisent l'hystérésis et c'est une raison de plus pour que les calculs, déjà si difficiles à faire avec une certaine approximation, donnent parfois des résultats assez éloignés de ceux de l'expérience.

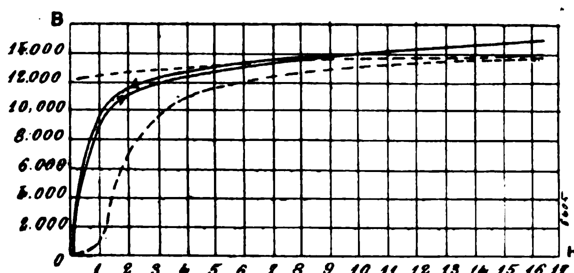


Fig. 3. — Courbe d'aimantation d un fer doux, -------- ordinaire, ———— avec vibrations.

MM. Franklin et Clarke (¹) ont obtenu une courbe analogue par un procédé différent : après chaque augmentation du champ, ils soumettent le fil de fer qu'ils étudient à l'action d'un champ longitudinal alternatif produit par un courant alternatif d'intensité décroissante ; ils trouvent par ce procédé la même courbe d'aimantation à la montée et à la descente, et cette courbe a les mêmes caractères que celles obtenues par les procédés précédents. Il semble que cette méthode d'atténuation de l'hystérésis soit plus énergique que les autres, car des vibrations réalisées par traction n'ont pas donné une courbe réversible, quoique réduisant déjà sensiblement l'hystérésis pour le fil étudié.

69. J'ai obtenu (*loc. cit.*) une courbe de même forme que ces courbes normales par une méthode de tout autre nature, en réalisant l'électrolyse du fer dans un champ magnétique ; pour chaque valeur de ce champ, le dépôt prend une certaine aimantation longitudinale bien déterminée (²) et en opérant avec différentes valeurs du champ, on peut construire la courbe des intensités d'aimantation ainsi obtenues (fig. 4, où on a comparé cette courbe à celle qu'on obtient pour un dépôt identique dans les conditions ordinaires). Ce résultat montre que, bien que les particules de fer soient soumises à l'action du champ magnétique au moment même où elles se forment, l'aimantation n'a pas sa valeur maximum si faible que soit le champ ; il suffit, il est vrai, d'un champ relativement faible pour que la saturation magnétique soit à peu près réalisée, mais pour les valeurs plus faibles, l'action du champ est insuffisante pour produire la saturation ; cela semble bien prouver que les forces qui

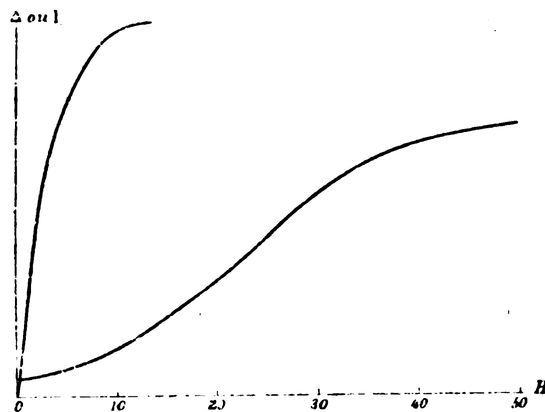


Fig. 4. — Courbes d'aimantation de fer électrolytique 1° obtenu dans un champ magnétique ; 2° obtenu dans un champ nul, puis aimanté.

(¹) Franklin et Clarke, *The Physical Review*, t. VIII, p, 304, mai-juin 1899.

(²) Sauf pour les premières couches, pour lesquelles se manifestent des propriétés spéciales (*Journ. de Physique*, (IV), t. I, p. 151, mars 1902).

Digitized by Google

s'opposent à l'action d'un champ magnétique sur un noyau de fer, dans les conditions ordinaires, ne sont pas seulement les liaisons magnétiques des aimants particulaires, mais qu'agissent aussi des forces particulaires de nature différente. Il serait très intéressant de chercher si la courbe obtenue ainsi se confond avec la courbe normale qu'on obtiendrait en supprimant l'hystérésis dans l'action d'un champ magnétique sur un dépôt électrolytique de fer ordinaire. S'il en était ainsi, il en résulterait que les positions que prennent les aimants particulaires en se formant en présence du champ magnétique seraient les mêmes que les positions d'équilibre stable que prennent ces aimants particulaires lorsque le champ magnétique agit sur le fer compact.

70. Essais de formules représentatives et de lois numériques. Formule de Steinmetz — On a essayé souvent de relier par une formule numérique I et H, ou, ce qui revient au même, B et H.

La formule de Fröhlich correspond à l'hypothèse suivante : supposons la susceptibilité magnétique $\left(k = \frac{I}{H}\right)$ proportionnelle à la différence existant entre l'intensité d'aimantation maximum et l'intensité actuelle ; on aura :

$$k = \frac{I}{H} = A\,(I_m - I),$$

d'où

$$I = \frac{A.I_m H}{1 + AH}.$$

On peut écrire cette formule

$$I = \frac{\alpha H}{1 + \beta H},$$

l'aimantation à saturation étant alors $\frac{\alpha}{\beta}$. Elle représente une hyperbole équilatère passant par l'origine et dont une asymptote est parallèle à OH. Mais, d'après l'hypothèse même d'où on l'a déduite, cette formule ne peut servir que pour la partie de la courbe d'aimantation ordinaire qui correspond aux champs assez élevés. Elle représente grossièrement cette partie de la courbe ; même son allure est celle des courbes d'aimantation normales dont nous venons de parler.

On a aussi proposé la formule $I = a.\ \mathrm{arc\ tg}\ bH$, mais cette formule paraît moins bien convenir que la précédente.

M. Müllendorf s'est proposé de chercher une formule pouvant représenter les courbes d'aimantation ordinaires (1) ; soit I_m l'aimantation maximum ; posons

$$x = \frac{I_m}{I_m - I};$$

quand I' croît de 0 à I_m, x croît de 1 à $+\infty$. Admettons que l'accroissement dx qui correspond à une variation dH du champ est proportionnel à H_p ; d'ailleurs, plus x augmente, plus dx doit être faible ; admettons que dx est inversement proportionnel à dx ; on aura :

$$dx = a.\frac{H^p}{x^q}.dH.$$

(1) Müllendorf, *Elek. Zeitschrift*, p. 925 ; 1901 et p. 25, 1902. *E. E.*, t. XXIX, p. 485 ; 1901 et t. XXX, p. 486 ; 1902.

Digitized by Google

En intégrant, on arrive à l'expression

$$I = I_m \left[1 - \frac{1}{(1 + bH^m)^n} \right],$$

ou

$$B = H + 4\pi I = H + 4\pi I_m \left[1 - \frac{1}{(1 + bH^m)^n} \right],$$

La courbe qui représente cette relation a à peu près la forme des courbes d'aimantation, mais on ne peut espérer qu'elle soit autre chose qu'une formule empirique, puisqu'on y suppose que, dans les conditions ordinaires, I est une fonction définie de H. D'après l'auteur, on rend compte approximativement des résultats expérimentaux en faisant $m = 2$ et $n = \frac{1}{2}$, d'où une formule de la forme

$$B = H + \alpha \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \beta H^2}} \right],$$

α et β étant deux constantes qui dépendent de la nature du fer considéré.

M. Buchanan a tenté de serrer la réalité de plus près et de tenir compte de l'aimantation rémanente; ses calculs sont trop complexes pour que je puisse les exposer ici ([1]).

71. Plusieurs relations entre des constantes magnétiques ont été indiquées. MM. Houston et Kennely ([2]) ont déduit des nombreux résultats expérimentaux d'Ewing la relation suivante entre l'induction rémanente B_r et l'induction maximum B_m produite par le champ magnétique qui a agi sur l'échantillon :

$$B_r = a(B_m - b),$$

a et b étant des constantes dépendant de la nature du fer; d'après Fessenden ([3]), cette formule s'applique assez correctement au fer doux, mais seulement pour des valeurs faibles de B_m.

MM. Gumlich et Schmidt ([4]) trouvent que le maximum de μ, l'intensité d'aimantation rémanente I_r et le champ coercitif H_c sont reliés par la formule

$$\mu_{max} = 0{,}488 \frac{I_r}{H_c}$$

dans le cas de fer doux, et, pour la fonte, par la formule

$$\mu_{max} = [0{,}476 + 0{,}0057 . H_c] \frac{I_r}{H_c},$$

de sorte que dans ces deux cas on aurait la formule approchée.

$$\mu_{max} = 0{,}5 . \frac{I_r}{H_c}$$

72. La formule de Steinmetz, reliant l'énergie d'hystérésis correspondant à un cycle fermé aux limites de l'induction,

$$W = \eta . \left(\frac{B_2 - B_1}{2} \right)^{1,6}$$

([1]) Buchanan, *Phil. Magazine*, (VI), t. I, p. 330; 1901. *E. E.*, t. XXVIII, p. 263; 1901.

([2]) Houston et Kennely, *The Electrical World*, 1er juin 1895.

([3]) Fessenden, *id.*, 13 août 1895.

([4]) Gumlich et Schmidt, *Elektrotechn. Zeitschrift*, t. XXII, p. 621-628 ; 1901.

Digitized by Google

ou, pour un cycle à limites symétriques,

$$W = r_1 B^{1,6}$$

est constamment l'objet d'essais de vérification; nous en verrons quelques exemples plus loin en étudiant l'énergie d'hystérésis; il semble qu'on doive la considérer comme s'appliquant aux fers carburés ordinaires pour des valeurs moyennes de l'induction, et seulement avec une approximation assez grossière; pour les valeurs extrêmes de l'induction, elle paraît tout à fait en défaut. M. Doery [1] a essayé de montrer que des considérations théoriques peuvent conduire à cette formule et sont favorables à la valeur 1,6 de l'exposant.

73. Influence des substances autres que le fer et le carbone. — Il ne saurait entrer dans le cadre de cet article de décrire les propriétés des corps contenant, avec le fer et le carbone, des proportions considérables d'autres corps, propriétés qui s'éloignent beaucoup de celles des fers carburés et dont le grand intérêt nécessiterait une étude spéciale.

La recherche d'alliages propres à la construction d'étalons de longueur a été le point de départ d'études d'un haut intérêt, en particulier celles relatives aux alliages de fer et de nickel. Les propriétés de ces alliages les rendent propres à de multiples applications, et la singularité de ces propriétés permet des aperçus nouveaux sur la constitution des alliages [2].

Un autre ordre de faits qui a beaucoup attiré l'attention sur l'influence d'une proportion importante d'un corps étranger est celui révélé par les expériences de Parshall [3] et surtout de Barrett, Brown et Hadfield [4]; des fers contenant peu de carbone et quelques centièmes de silicium ou, mieux, d'aluminium, ont des propriétés magnétiques meilleures que les fers les plus purs.

Voici par exemple les valeurs de B_{max}, H_c et W correspondant à des cycles identiques de limites $H = \pm 45$ gauss, pour les deux fers les plus purs étudiés par Barrett et pour des fers à l'aluminium et au silicium; on y a ajouté les valeurs de μ pour $H = 8$ gauss, et celles de la résistance spécifique ρ, en microhms par centimètre cube, à la température ordinaire. La composition des quatre échantillons est celle indiquée; ils contenaient seulement des traces de soufre, de phosphore et de manganèse; ils ont été étudiés exactement dans les mêmes conditions, après un recuit soigné à 1000°, suivi d'un refroidissement lent.

FER	CARBONE	SILICIUM	ALUMINIUM	B pour $H = 45$	H_c	W	μ pour $H = 8$	ρ
99,71	0,03 p. 100	0,14	»	16 800	1,66	10 760	1 625	10 900
99,72	0,05 —	0,02	»	15 720	1,66	11 300	1 500	10 300
97,33	0,24 —	0,18	2,25	16 900	1,00	8 000	1 700	39 000
97,30	0,20 —	2,50	»	16 420	0,90	7 900	1 680	42 100

(1) Doery, *Zeitschrift fur Elektrotechnik*, 6 juillet 1902.

(2) Ch.-Ed. Guillaume, Les aciers au nickel, Gauthiers-Villars, Paris, 1898. Recherches sur le nickel et ses alliages, *Arch. des Sc. Physiques et Naturelles de Genève*, (4), t. V, p. 255; 1898. Les applications des aciers au nickel, *id.*, (4), t. XV, p. 249, 403, 514, 623, 1903. Théorie des aciers au nickel, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. XXXVI, p. 1638, 29 juin 1903 et t. XXXVII, p. 44, 6 juillet 1903. *Revue gén. des Sciences*. Propriétés et théorie des aciers au nickel, 15 et 30 juillet 1903. Sur les aciers spéciaux en général, v. : A. Abraham, Étude sur certains aciers spéciaux, *Ann. des Mines*, (9), t. XIV, p. 225-347, 1898. L. Babu, Fabrication et travail des aciers spéciaux, *Bull. de la Soc. de l'Industrie minérale*, (3), t. XIV, 1901. Edit. à part, lib. Thomas, Saint-Etienne, 1900.

(3) Parshall, *Proceedings of the Inst. of civil Engineers*, 19 mai 1896.

(4) Barrett, Brown et Hadfield, *Journ. of the Inst. of electrical Engineers*, t. XXXI, p. 674-728; 1902. *E. E.*, t. XXXII, p. 253; 1902.

Digitized by Google

Il est à remarquer que la résistance de ces alliages de haute perméabilité et de faible hystérésis est environ quatre fois plus grande que celle des bons fers doux ordinaires, d'où une notable réduction des courants induits si on fait les noyaux soumis à un champ variable avec ces alliages au lieu de les faire en fer doux; ces alliages semblent donc avoir un grand avenir, d'autant plus qu'on peut espérer des propriétés magnétiques encore meilleures pour une teneur convenable; ainsi, pour un autre alliage au silicium, en contenant 5,5 p. 100 au lieu de 2,5 la valeur de B pour $H = 45$ était 15 980, c'est-à-dire très peu inférieure à celle correspondant à 2,5 et W était seulement 6 500 au lieu de 7900, H_c étant réduit à 0,85.

Le mémoire de M. Barrett renferme les résultats d'essais magnétiques analogues sur plus de cent échantillons choisis avec soin pour leur homogénéité, et dans lesquels se trouvent unis au fer, en diverses proportions, Mn, Ni, Tu, Al, Si, Cu, ou plusieurs de ces corps avec ou sans Cr. Ces résultats, joints à ceux qu'on possédait déjà (¹) permettent de connaître en gros le rôle de chaque corps, que j'indiquerai brièvement, sauf pour le nickel; mais on est encore loin de connaître, le détail des propriétés magnétiques de ces alliages, et surtout leurs variations, si importantes, avec la température.

Manganèse. — Le manganèse en petite quantité diminue peu la perméabilité μ, mais augmente H_c et par suite W; entre 2,25 et 4 p. 100 de Mn se produit une diminution considérable de B et une augmentation de H_c, de sorte que les propriétés magnétiques deviennent tout à fait mauvaises, et d'autant plus qu'il y a plus de manganèse; à partir de 13 p. 100 les alliages sont pratiquement non magnétiques; cependant par un traitement thermique convenable on pourrait sans doute donner à ces alliages des propriétés magnétiques à la température ordinaire; par exemple, trempé puis recuit, un alliage à 13 p. 100 est assez magnétique ($I_r = 70$, avec $H_c = 135$) (Mme Curie). D'ailleurs des alliages plus riches en manganèse et contenant d'autres métaux, l'aluminium par exemple, se sont montrés aussi assez magnétiques. L'influence du carbone dans les alliages fer-manganèse est curieuse : pour les faibles teneurs en manganèse, moins de 3 ou 4 p. 100, le carbone affaiblit les propriétés magnétiques; au contraire, au-dessus de cette teneur, il les améliore.

Aluminium. — Il rend le métal plus doux, même à faible dose (fonte mitis); à 0,75 p. 100, il donne un métal de propriétés magnétiques analogues à celles du bon fer doux; à 2,5 p. 100, les propriétés magnétiques sont améliorées; à teneur plus forte, il fait diminuer B, tout en maintenant un H_c très faible.

Tungstène. — En petite quantité, il ne produit pas de variation sensible; pour une teneur de 1 p. 100, il diminue à peine B, mais augmente H_c et par suite W; ces deux effets s'accentuent à mesure que la proportion augmente; pour 15,5 p. 100, la plus forte teneur des échantillons de Barrett, on a $B = 11.090$ pour $H = 45$ et $H_c = 14$.

Cuivre. — Il réduit B et augmente H_c; par exemple, pour 1,59 p. 100, on a, pour $H = 45$, $B = 14.600$ et $H_c = 5$.

Alliages peu ou pas magnétiques. — Barrett a étudié des alliages contenant du Mn, ou Mn et Ni, Mn et Tu, Mn et Cr; quelques-uns ne sont pas magnétiques d'une manière sensible ; d'autres le sont peu, et alors leur teneur en carbone influe beaucoup sur leur magnétisme ; pour $H = 320$ gauss, Barrett a trouvé des valeurs de l'intensité d'aimantation I allant de 0 à 123. On peut donc trouver là toute la gamme des corps magnétiques, et on obtiendrait d'intéressants résultats en effectuant sur ces corps des recherches méthodiques comme celles de M. Weiss sur les alliages fer-antimoine (²).

(*A suivre*). Ch. Maurain.

(¹) V. le rapport de M. du Bois au *Congrès de Physique*, t. II, p. 473.

(²) P. Weiss, *Soc. française de Physique*, 15 mai 1896. *E. E.*, t. VIII, p. 248 et 306, 1896.

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Recherches sur l'amorcement des machines dynamo, par **L. Finzi**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 212-217 et 241-247, janvier 1903.

La machine sur laquelle ont porté les expériences est une machine en dérivation avec inducteurs d'acier. Elle est commandée à l'aide de courroies par un moteur à vapeur et mise en marche le circuit extérieur et le circuit des inducteurs étant ouvert. A un moment donné, on ferme le circuit des inducteurs, puis on note de 5 secondes en 5 secondes, la vitesse de l'armature n et la différence de potentiel aux bornes.

On fait varier la résistance du circuit inducteur au moyen d'un rhéostat. On déduit la valeur de l'aimantation rémanente du rapport entre la vitesse de la machine et de la différence de potentiel aux bornes, quand le circuit inducteur est ouvert.

Les balais sont en charbon, bien dressés, de façon qu'un bon contact soit assuré.

Le temps t nécessaire pour que la machine s'amorce et atteigne son régime dépend de la vitesse angulaire de l'armature, de l'aimantation rémanente et de la résistance R du circuit inducteur.

La courbe $t = f(R_m)$ a l'allure d'une hyperbole, avec un point d'inflexion très peu marqué, de part et d'autre duquel elle est presque rectiligne.

La courbe $t = \varphi(i)$, i étant le courant d'excitation maximum, a une allure toute semblable.

Il en est de même encore de la courbe qui représente t en fonction de la vitesse angulaire.

Quand on maintient la résistance des inducteurs et la vitesse angulaire constantes, le temps t dépend de l'aimantation rémanente. La courbe qui représente la variation relative de ces deux grandeurs, d'abord inclinée vers l'axe des abscisses (aimantations rémanentes) se relève rapidement quand l'abscisse diminue pour devenir asymptote à l'axe des ordonnées.

Les formules habituelles conduisent à des résultats autres que ceux des expériences. Ce désaccord tient sans doute pour la plus grande part à l'hystérésis et aux courants de Foucault. Il est à remarquer aussi que dans une machine en acier, avec un large entrefer, il n'y a pas proportionnalité entre le flux magnétique et le champ inducteur, même pour les faibles saturations.

M. L.

Elément galvanique réversible Thomas A. Edison (*Edison Storage Battery Company*). Brevet américain 727 117 du 3 octobre 1902. *Centralblatt f. Accumulatoren-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 208, 1er septembre 1903.

Si on prend comme support de matière active (par exemple le fer) dans un accumulateur alcalin, un métal moins oxydable et plus facilement réductible que cette matière active (par exemple le cuivre, le mercure ou l'argent), on obtient un meilleur contact électrique entre les particules, on diminue le poids par rapport à l'unité d'énergie et on élève la tension pendant toute la durée de la décharge.

Par exemple, on réduit à l'état métallique de l'oxyde de fer finement divisé, à l'aide d'un courant d'hydrogène, à 480° C. On laisse refroidir dans ce courant de gaz et on injecte de l'eau dans la cornue pour éviter une réoxydation du fer. Lorsqu'on le retire, le fer humide s'échauffe un peu; mais l'oxydation est faible.

A la masse, on ajoute de l'oxyde de cuivre ammoniacal dans la proportion 33 p. 100 de cuivre pour 66 p. 100 de fer. Chaque particule de fer est ainsi recouverte d'une couche de cuivre poreux qui est mélangé à l'oxyde de fer. On a avantage à mélanger 20 p. 100 de graphite à la matière ainsi obtenue.

En présence du fer en excès, le cuivre ne s'oxyde pas pendant la décharge.

Si on mélange à l'oxyde de fer obtenu par calcination très modérée de l'oxalate, de l'oxyde de cuivre ammoniacal sec, qu'on évapore l'humidité et qu'on ajoute 20 p. 100 de graphite, les briquettes ainsi obtenues sont très longues à former. Il est plus avantageux par conséquent d'opérer la réduction de ce mélange par l'hydrogène, comme il est décrit ci-dessus.

Avec l'oxyde de fer on peut aussi mélanger de l'hydrate d'oxyde de cuivre ou des sels de cuivre comme l'acétate, qui sont ensuite décomposés

Digitized by Google

par l'échauffement. Mais la première méthode est la meilleure.

L'argent est trop cher. Mais le mercure peut remplacer l'oxyde de cuivre ammoniacal dans la première méthode, en l'employant à l'état d'oxyde précipité (15 p. 100). Pendant la décharge, le mercure reste à l'état métallique. La capacité d'une telle électrode est remarquablement plus élevée que celle d'une électrode-fer sans addition de mercure.

Pour l'électrode-oxyde de nickel ou autre dépolarisant, l'addition de cuivre ou de mercure n'est pas favorable. Il est avantageux que la capacité de l'électrode-fer soit supérieure à celle de l'électrode-oxyde de nickel.

L. J.

Méthode graphique pour obtenir la valeur de la tension et du courant secondaires dans un transformateur triphasé asymétriquement chargé, par **Aug. Koning**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 24, 8 janvier 1903.

Nous étudierons plus spécialement un transformateur triphasé avec montage en étoile qui est celui qu'on rencontre le plus fréquemment dans la pratique. Les données du problème sont les suivantes (fig. 1) : on connait les tensions

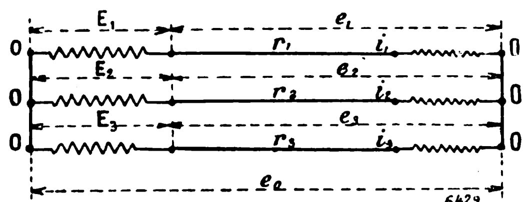


Fig. 1.

efficaces étoilées E_1, E_2, E_3, de l'enroulement secondaire et les charges des trois phases représentées par les résistances r_1, r_2, r_3.

Dans le cas d'une charge inductive, il faut encore supposer connu l'angle de déphasage qui dépend du coefficient de self-induction et de la capacité. Nous désignerons par i_1, i_2, i_3, les courants dans chaque phase; par e_0, la différence de potentiel entre les deux points neutres; et par φ_1, φ_2, φ_3 les angles de déphasage entre la tension et le courant.

I. Charge non inductive. — 1. *Charges inégales sur les trois phases.* — On se donne $E_1 \neq E_2 \neq E_3$ avec $r_1 \neq r_2 \neq r_3$; il faut déterminer graphiquement i_1, i_2, i_3, ainsi que les tensions efficaces e_1, e_2 et e_3, aux bornes des sections réceptrices. L'application des lois de Kirchhoff conduit aux égalités suivantes.

$$\left.\begin{aligned} i_1 r_1 &= E_1 - e_0 \\ i_2 r_2 &= E_2 - e_0 \\ i_3 r_3 &= E_3 - e_0 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

On tire de là :

$$\left.\begin{aligned} i_1 &= \frac{E_1}{r_1} - \frac{e_0}{r_1} \\ i_2 &= \frac{E_2}{r_2} - \frac{e_0}{r_2} \\ i_3 &= \frac{E_3}{r_3} - \frac{e_0}{r_3} \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Il n'entre dans ces conditions qu'une seule inconnue, à savoir la différence de potentiel entre les deux points O et O'. Or la somme géométrique $i_1 + i_2 + i_3$ étant nulle, on peut écrire :

$$\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3} - e_0\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right) = 0,$$

ou symboliquement

$$\Sigma \frac{E}{r} - e_0 \Sigma \frac{1}{r} = 0; \qquad (3)$$

d'où on tire

$$e_0 = \frac{\Sigma \frac{E}{r}}{\Sigma \frac{1}{r}}. \qquad (4)$$

Les quotients $\frac{E}{r}$ représentant des courants, nous poserons :

$$\frac{E_1}{r_1} = j_1, \ \frac{E_2}{r_2} = j_2 \text{ et } \frac{E_3}{r_3} = j_3$$

et

$$\Sigma \frac{E}{r} = \Sigma j = y,$$

car les courants fictifs j étant en phase avec les tensions E, leur résultante géométrique est un vecteur parfaitement déterminé en grandeur et en direction.

Le dénominateur de l'égalité (4) est la somme des inverses des résistances des trois phases ; on peut donc poser

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} ;$$

et

$$R = \frac{r_1 r_2 r_3}{r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_3 r_1}.$$

Digitized by Google

On aura alors

$$e_0 = y\text{R}. \tag{4 a}$$

Il résulte de cette dernière égalité que e_0 est en phase avec y, et la solution graphique du problème est alors la suivante (fig. 2).

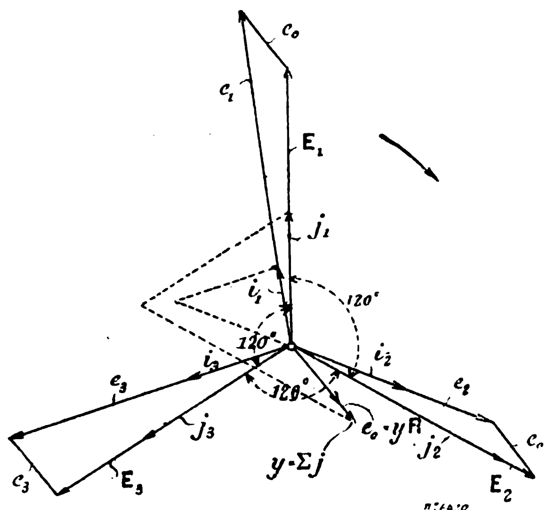


Fig. 2.

On trace les trois vecteurs décalés de 120° correspondant à E_1, E_2 et E_3; on calcule les courants fictifs j et on porte chacun d'eux sur le vecteur E correspondant. La somme géométrique Σj donnera y dont la direction coïncide avec celle de e_0 ; on portera donc sur le vecteur y une longueur égale à $y\text{R} = e_0$. Il ne reste plus qu'à faire la différence géométrique de E avec e_0 pour obtenir les tensions e_1, e_2, e_3, en grandeur et direction. Les courants i_1, i_2, i_3, en phase avec e_1, e_2, e_3 sont par suite aussi complètement déterminés. Comme preuve de l'exactitude de la solution, on peut vérifier que la somme $i_1 + i_2 + i_3$ est nulle, c'est-à-dire que les trois vecteurs des courants forment un triangle.

2. *Les trois phases sont également chargées.* — On a :

$$E_1 = E_2 = E_3 = E \quad \text{et} \quad r_1 = r_2 = r_3 = r;$$

on voit de suite que les courants fictifs sont les mêmes pour les trois phases ; leur somme géométrique est nulle ; et $y = \Sigma j = 0$; on aura de même $e_0 = 0$. Les tensions étoilées efficaces et les tensions aux bornes des récepteurs sont égales, c'est-à-dire que $E = e$, et on a aussi $i = j$. La construction géométrique n'offre aucune difficulté dans ce cas.

3. *Deux phases sont également chargées.* — Nous admettons que les phases 2 et 3 sont également chargées $r_2 = r_3$. ; on peut alors avoir $r_1 < r_2 = r_3$ ou $r_1 > r_2 = r_3$. Chacun de ces cas particuliers pourrait à son tour se subdiviser en deux, suivant que l'on aurait $E_1 = E_2 = E_3$ ou $E_1 = E_1$ et $E_2 = E_3$; mais ces dernières hypothèses n'apportent aucun changement dans les constructions géométriques qui ne dépendent que de la grandeur de la charge de la troisième phase par rapport aux deux autres.

Supposons d'abord que l'on ait

$$r_1 < r_2 = r_3$$

avec

$$E_1 = E_2 = E_3 = E.$$

Alors

$$j_1 = \frac{E}{r_1}, \quad j_2 = j_3 = \frac{E}{r_2} = \frac{E}{r_3}$$

et

$$j_1 > j_2 = j_3.$$

Si on cherche la résultante géométrique y, des trois courants fictifs, on trouve qu'elle est

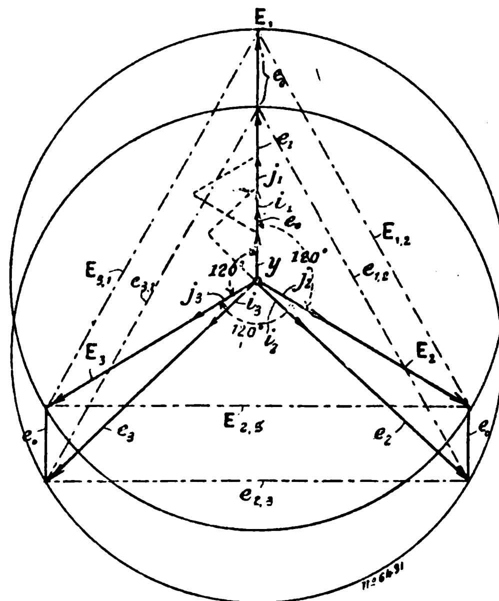


Fig. 3.

en phase avec E_1 (fig. 3). On portera donc sur ce même vecteur $e_0 = y\text{R}$; puis on construira $E_1 - e_0$, $E_2 - e_0 = E_3 - e_0$; on remarquera sur la figure que $e_1 < E_1$, mais que $e_2 = e_3 > E_2 = E_3 = E_1$ La phase la moins chargée provoque donc dans les deux autres une surélévation de tension d'autant plus grande que la différence

entre les charges est elle-même plus grande. L'inspection de la figure conduit encore à la remarque suivante : les tensions e tout en étant différentes donnent des tensions composées de même grandeur, c'est-à-dire, $e_{1,2} = e_{2,3} = e_{3,1}$. Le triangle des tensions $e_{1,2}$, $e_{2,3}$, $e_{3,1}$ est identique au triangle des tensions $E_{1,2}$, $E_{2,3}$, $E_{3,1}$. On a pour les courants dans les phases respectives :

$$i_1 = \frac{e_1}{r_1}, \qquad i_2 = i_1 = \frac{e_2}{r_2} = \frac{e_3}{r_3}.$$

Il est encore facile de vérifier que $\Sigma i = 0$, c'est-à-dire que les trois vecteurs du courant forment un triangle.

Supposons maintenant $r_1 > r_2 = r_3$ avec $E_1 = E_2 = E_3 = E$. Cette fois, on a :

$$j_1 < j_2 = j_3.$$

La résultante géométrique (fig. 4) des cou-

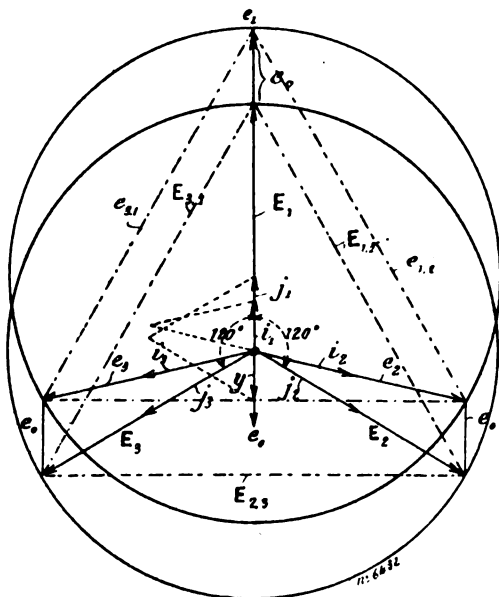


Fig. 4.

rants fictifs est encore en phase avec E_1, mais décalée de 180°. Le vecteur e_0 sera donc aussi dirigé en sens contraire de E_1 et la construction donnera :

$$e_1 > E_1, \; e_2 = e_3 < E_2 = E_3 = E_1.$$

Il y a cette fois une surélévation de tension dans la phase la plus chargée. Les tensions composées sont toujours égales, c'est-à-dire, $e_{1,2} = e_{2,3} = e_{3,1}$; en joignant les extrémités des vecteurs e, on forme un triangle équilatéral égal au triangle obtenu en joignant les extrémités des vecteurs E ; seulement ces deux triangles sont légèrement déplacés l'un par rapport à l'autre ; on a donc

$$e_{1,2} = E_{1,2} = e_{2,3} = E_{2,3} = e_{3,1} = E_{3,1}.$$

II. Charge inductive des trois phases. — La marche à suivre pour arriver à la solution du problème est au fond la même que dans le premier cas ; il suffit simplement de tenir compte, pour l'établissement du diagramme, de l'existence du déphasage entre la tension et le courant dans chaque phase. Ce déphasage peut provenir soit de la présence d'une self-induction, soit de la présence d'une capacité, et il y a alors avance ou retard de la tension sur le courant.

1. *Charges inégales sur les trois phases.* — On se donne les tensions aux bornes du transformateur, les résistances qui constituent les charges et les angles de déphasage ou les coefficient de self-induction : $E_1 \neq E_2 \neq E_3$, $r_1 \neq r_2 \neq r_3$, $\varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3$. On a toujours d'après la loi de Kirchhoff, $e = E - e_0$; mais la relation $e = ir$ devient $e = ir \times \frac{1}{\cos\varphi}$ ou $ir = \frac{e}{r}\cos\varphi$; en multipliant les deux membres de $e = E -_0$ par $\frac{e}{r}\cos\varphi$, on aura les égalités :

$$i_1 = \frac{e_1}{r_1}\cos\varphi_1 = \frac{E_1}{r_1}\cos\varphi_1 - \frac{e_0}{r_1}\cos\varphi_1$$

$$i_2 = \frac{e_2}{r_2}\cos\varphi_2 = \frac{E_2}{r_2}\cos\varphi_2 - \frac{e_0}{r_2}\cos\varphi_2$$

$$i_3 = \frac{e_3}{r_3}\cos\varphi_3 = \frac{E_3}{r_3}\cos\varphi_3 - \frac{e_0}{r_3}\cos\varphi_3.$$

La somme géométrique des trois courants est encore nulle ; de telle sorte qu'en additionnant ces trois égalités, on obtient :

$$\Sigma \frac{E}{r}\cos\varphi - e_0 \Sigma \frac{1}{r}\cos\varphi = 0.$$

Pour conserver la symétrie des premières formules, nous poserons $\frac{1}{r}\cos\varphi = \frac{1}{r'}$ ce qui donne $e_0 = \frac{\Sigma \frac{E}{r'}}{\Sigma \frac{1}{r'}}$. Les courants fictifs j' s'introduiront dans les calculs comme précédemment, mais ils seront décalés de l'angle φ sur les tensions E correspondantes : $j' = \frac{E}{r'} = \frac{E}{r}\cos\varphi$. Puisqu'on

Digitized by Google

connaît les angles φ_1, φ_2 et φ_3, on pourra calculer séparément les courants $j'_1 = \frac{E_1}{r_1}\cos\varphi_1$... etc., et former ensuite leur somme géométrique $\Sigma j' = y'$, à l'aide du diagramme. Il en résulte

$$y' - e_0 \Sigma \frac{1}{r'} = 0,$$

ou

$$y' - e_0 \times \frac{1}{R'} = 0;$$

on tire de là

$$e_0 = \frac{y'}{\frac{1}{R'}} \quad \text{et} \quad e_0 = y'R'.$$

Que représente la grandeur R'? Nous avons désigné par r les résistances ohmiques respectives des phases; donc $\frac{r}{\cos\varphi} = r'$, n'est autre chose que la résistance apparente ou impédance; en écrivant la relation

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{r'_1} + \frac{1}{r'_2} + \frac{1}{r'_3}.$$

nous avons tout simplement exprimée que $\frac{1}{R'}$ est la résultante géométrique des admittances des trois phases.

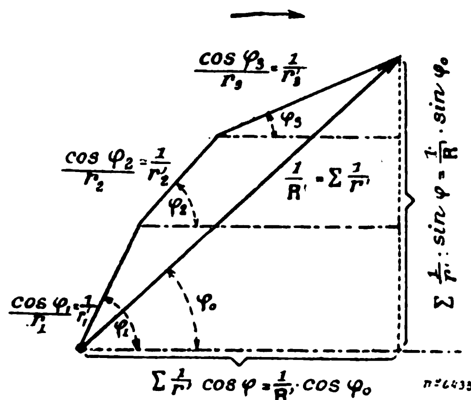


Fig. 5.

Nous déterminons ainsi e_0 en grandeur, mais non en direction, car cette tension n'est plus en phase avec y' R'; en effet R' représente une impédance et non plus une simple résistance ohmique comme dans le cas d'une charge non inductive. Le déphasage φ_0 de y' sur e_0 et l'admittance résultante $\frac{1}{R'}$ se déterminent par les constructions indiquées en figure 5. Les tensions e_1, e_2, e_3 aux bornes des réceptrices s'obtiennent géométriquement comme dans le premier cas; quant aux courants, ils sont déphasés sur ces tensions d'angles connus φ_1, φ_2, et φ_3; ils sont donc parfaitement déterminés en direction et leur valeur numérique peut se déduire de la formule $i = \frac{e}{r}\cos\varphi$. Comme contrôle, la somme géométrique de tous ces courants doit être nulle.

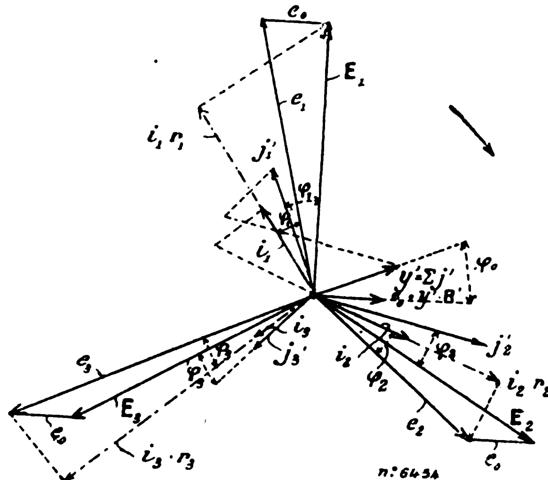


Fig. 6.

Nous reproduisons dans la figure 6 les constructions géométriques qui résument toutes les considérations théoriques que nous venons de développer et qui conduisent à la solution graphique du problème.

1. *Charge symétrique des trois phases.* — On a :

$$E_1 = E_2 = E_3 = E, \ r_1 = r_2 = r_3 = r, \ \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi.$$

Tous les courants fictifs j' doivent aussi être égaux :

$$\frac{E}{r}\cos\varphi = \frac{E}{r'} = j'_1 = j'_2 = j'_3 = j',$$

et

$$\Sigma j' = y' = 0.$$

La tension e_0 est donc nulle, ce qui entraîne les égalités suivantes : $e = E$ et $i = j'$, en grandeur et sens.

Ce cas particulier ne se différencie donc d'une charge symétrique non inductive que par le déphasage des courants.

2. *Application numérique.* — Un exemple numérique fera mieux ressortir la simplicité et

Digitized by Google

l'exactitude de la méthode. Les données sont les suivantes :

$$E_{1.2} = E_{2.3} = E_{3.1} = 200 \text{ volts, tension composée;}$$
$$r_1 = 2 \text{ ohms}, \; r_2 = r_3 = 5,2 \text{ ohms;}$$
$$\varphi_1 = 60^o, \; \varphi_2 = \varphi_3 = 30^o.$$

Comme nous avons pris pour point de départ les tensions étoilées, il faut d'abord calculer celles-ci par la relation connue $E_1 = E_2 = E_3 = \frac{E_{1.2}}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} = 115,5$ volts. On construit alors trois vecteurs décalés de 120° et égaux à

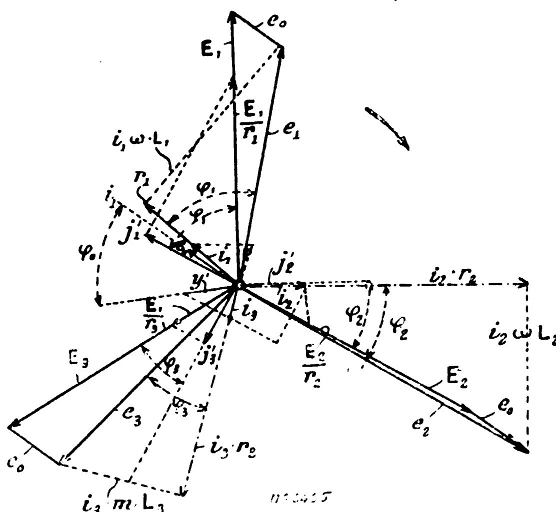


Fig. 7.

115,5 volts (fig. 7). Pour obtenir les courants fictifs d'une manière simple, on porte sur les tensions E les vecteurs $\frac{E}{r}$; la projection de ceux-ci sur les vecteurs déphasés d'angles φ par rapport à E donne les courants fictifs en grandeur et direction. On a :

$$\frac{E_1}{r_1} = \frac{115,5}{2} = 57,75;$$
$$\frac{E_2}{r_2} = \frac{E_3}{r_3} = \frac{115,5}{5,2} = 22,21.$$

Du diagramme on déduit,

$$j_1 = 29. \; j'_2 = j'_3 = 19.$$

Leur résultante géométrique représente y' en grandeur et direction : $y' = 15$.

La détermination de l'impédance équivalente R' et de son déphasage φ_0 par rapport à y' sont indiqués dans la figure 8. A partir d'une ligne horizontale et sous des angles respectivement égaux à φ_1, φ_2, et φ_3, on porte des vecteurs proportionnels aux admittances $\frac{1}{r'_2}$ et à une échelle quelconque. Leur résultante donnera $\frac{1}{R'}$ en

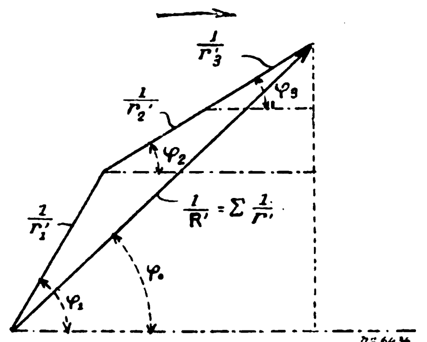


Fig. 8.

grandeur et l'angle de cette ligne avec l'horizontale sera précisément φ_0. On a :

$$\frac{1}{r'_1} = \frac{1}{r_1} \cos \varphi_1 = \frac{1}{2} \cos 60^o = 0,25 \text{ mhos}$$
$$\frac{1}{r'_2} = \frac{1}{r'_3} = \frac{1}{r_2} \cos \varphi_2 = \frac{1}{5,2} \cos 30^o = 0,167 \text{ mhos.}$$

On obtient :

$$\frac{1}{R'} = 0,565 \text{ mho}, \qquad \varphi_0 = 43^o,5,$$

et

$$e_0 = y' \times \frac{1}{R'} = \frac{15}{0,566} = 26,6 \text{ volts.}$$

On porte cette tension sur le diagramme de la figure 8 en avance de 43°5 sur le vecteur y' ; puis on compose les différentes géométriques $E - e_0$, ce qui donne :

$$e_1 = 103 \text{ volts}, \; e_2 = 142 \text{ volts, et } e_3 = 107 \text{ volts.}$$

Ainsi tout en supposant les sections 2 et 3 également chargées, les tensions aux bornes des réceptrices sont très différentes ; celle de la phase 2 d'environ 33 p. 100. Les courants réels i se calculent d'une façon très simple, puisqu'on connaît les déphasages φ du courant sur la tension correspondante dans chaque phase. On trace trois vecteurs faisant avec e_1, e_2, et e_3 des angles décalés en arrière, égaux à φ_1, φ_2, et φ_3. Les projections de e_1, e_2 et e_3 sur ces vecteurs donnent les produits i_1r_1, i_2r_2, et i_3r_3. On en déduit :

$$i_1r_1 = 51,5 \text{ volts}, \; i_2r_2 = 122,5 \text{ volts}, \; i_3r = 92 \text{ volts}$$

Digitized by Google

et

$$i_1 = \frac{51,5}{2} = 25,7 \text{ amp.}, \quad i_2 = \frac{122,5}{5,2} = 23,6 \text{ amp.},$$

$$i_3 = \frac{92}{5,2} = 17,7 \text{ amp.}$$

Comme contrôle, on doit vérifier que la somme géométrique de ces trois courants est nulle ; les constructions effectués sur le diagramme de la figure 7 montrent qu'il en est bien ainsi. T. P.

TRANSMISSION ET DISTRIBUTION

Système Bedell de distribution composée, par **A.-S. Mc Allister.** *Electrical Review* (N.-Y.) t. XLII, p. 362-365, 14 mars 1903.

Le caractère essentiellement différent du fonctionnement des lampes et des moteurs, tant au point de vue de la tension que de la phase, de la fréquence et du facteur de puissance, ont conduit M. Bedell à établir un système de distribution où la même ligne transporte simultanément le courant monophasé à haute fréquence pour l'éclairage et le courant polyphasé à basse fréquence spécialement approprié au fonctionnement des commutatrices, des alternateurs en parallèle et à la réduction de la réactance de la ligne. Les deux systèmes ainsi superposés sur la même ligne sont entièrement indépendants l'un de l'autre quant à la régulation, à la chute de tension et aux matériaux conducteurs. En effet, si I et i désignent deux courants de fréquence différentes et traversant le même conducteur, le courant résultant est $\sqrt{I^2 + i^2}$ et la perte est $RI^2 + Ri^2$. Si les deux courants ont la même intensité, la perte sera $2RI^2$, tandis qu'elle serait $4RI^2$ avec un courant d'intensité $2I$.

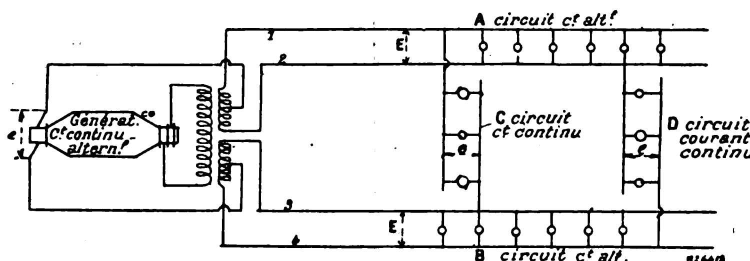


Fig. 1.

La figure 1 ci-contre représente un schéma de la distribution simultanée de courants continu et monophasé. La génératrice fournit d'un côté du courant continu aux circuits C, D et de l'autre du courant alternatif aux circuits A, B. L'inspection de la figure montre que les charges des deux circuits à courant alternatif n'ont aucune influence sur la force électromotrice des récepteurs à courant continu. Quant au débit des circuits à courant continu, on voit que tout courant continu passant par une moitié d'un enroulement du transformateur traverse en sens inverse la moitié d'un autre enroulement ou du même, et n'a aucun effet magnétisant. Les forces électromotrices peuvent être appropriées au genre de récepteurs ; par exemple, tous les moteurs seront alimentés par le courant continu à basse tension [1].

Cette distribution composée n'exige d'ailleurs pas d'appareils nouveaux ; on peut y employer la distribution à trois fils avec tout le bénéfice qu'elle comporte dans les distributions isolées.

La superposition de force électromotrice continue et monophasée, ou de forces électromotrices alternatives de fréquences différentes dans un même circuit donne lieu, naturellement, à une force électromotrice résultante qui n'est autre que la résultante géométrique des deux forces électromotrices composantes supposées en quadrature, $\sqrt{E^2 + e^2}$. La puissance transmise est $EI + ei$ et si $\frac{E}{e} = \frac{I}{i}$, elle est égale à $\sqrt{I^2 + i^2} . \sqrt{E^2 + e^2}$. La tension résultante est alors celle qui serait nécessaire dans un système

[1] Dans un système monophasé, il est nécessaire de doubler le matériel conducteur, si l'on veut doubler la capacité du système. Mais par la simple introduction d'une différence de potentiel continue à des points neutres convenables, on peut, avec ce système de transmission commune, fournir à de nouveaux moteurs une puissance égale à celle de la distribution monophasée existante, sans en influencer les récepteurs.

Digitized by Google

monophasé pour transporter l'énergie totale sous un courant égal à la résultante des deux courants composants.

Dans une distribution de cette espèce, chaque récepteur est soumis à la force électromotrice propre à son circuit seul, l'économie réside donc surtout dans ce fait que l'énergie est transmise sous une tension $\sqrt{E^2+e^2}$, tandis qu'elle est utilisée aux récepteurs sous la tension E ou e sans le secours d'aucune transformation.

Dans le cas de lignes à hautes tensions, l'économie est basée sur la différence de potentiel existant entre les divers conducteurs. Il y a donc lieu de choisir la force électromotrice superposée de telle sorte que la différence de potentiel entre les lignes ne se trouve pas augmentée. Ainsi dans une distribution biphasée à circuits distincts, la différence de potentiel entre deux conducteurs de phases différentes est $\frac{E}{\sqrt{2}}$, E étant la force électromotrice dans chaque phase. La différence de potentiel à superposer aux points neutres de chaque circuit, à la différence de potentiel $\frac{E}{\sqrt{2}}$ existante, pour que la différence de potentiel entre les lignes de phases différentes soit E, sera donnée par

$$\sqrt{E^2-\frac{E^2}{2}}=\frac{E}{\sqrt{2}};$$

ce sera une différence de potentiel égale à celle existant déjà entre les lignes de phasesdifférentes.

L'auteur se propose d'examiner l'économie relative de la distribution composée et des autres systèmes. Soit R, la résistance d'un conducteur, I le courant qui le traverse, la perte totale est $4RI^2$ et l'énergie transmise est, pour une distribution biphasée à deux circuits, égale à 2EI.

La force électromotrice superposée étant égale à $\frac{E}{\sqrt{2}}$, la résistance du circuit d'aller ou de retour étant $\frac{R}{2}$, la perte relative dans le système superposé sera la même que celle du système biphasé, si le courant i satisfait à l'égalité

$$\frac{Ri^2}{i\frac{E}{\sqrt{2}}}=\frac{4RI^2}{2IE} \quad \text{ou} \quad i=I\sqrt{2},$$

l'énergie transmise sera EI, soit la moitié de celle du système diphasé.

En représentant par 100, le cuivre employé dans un système diphasé, les matériaux conducteurs, pour une même différence de potentiel

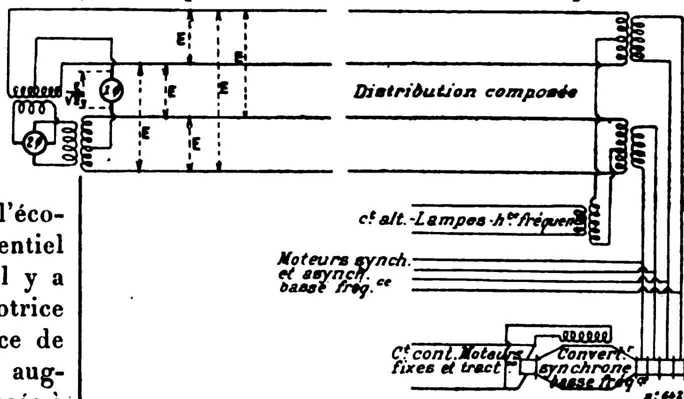


Fig. 2.

entre conducteurs et une même perte de ligne, seront représentés, à énergie égale à transmettre ;

pour un système	monophasé	par	100,00
—	diphasé	—	100,00
—	triphasé	—	75,00
—	composé	—	66,66 [1].

L'économie de conducteurs n'est ici cependant qu'accessoire en comparaison des avantages de cette distribution au point de vue de l'indépendance du réglage de la tension dans les circuits d'éclairage et de force motrice [2].

La figure 2 représente l'application du système à une distribution biphasée. Comme on le voit, on introduit une force électromotrice $\frac{E}{\sqrt{2}}$ aux points neutres du système biphasé de force

(1) Pour faire ressortir la signification de ces chiffres, l'auteur considère un système triphasé installé et distribuant l'énergie à basse fréquence pour la force motrice. La perte en ligne est supposée de 5 p. 100 à pleine charge. En introduisant un conducteur de plus, égal à chacun des trois existants, on pourra transmettre sur le circuit monophasé superposé une énergie égale à la moitié de celle du circuit polyphasé avec la même perte de 5 p. 100, et sans rien changer aux conditions du circuit polyphasé.

(2) On peut se faire une idée de l'indépendance parfaite des divers circuits de cette distribution composée, en remplaçant la génératrice monophasée et les transformateurs réducteurs par une installation de téléphone. On ne percevra aucun bruit dans le récepteur quelle que soit la charge appliquée au système polyphasé, et la parole se transmet sans difficulté.

Digitized by Google

électromotrice E et à basse fréquence. Tout courant monophasé produit une action différentielle nulle sur le système des transformateurs et les courants des différents circuits sont absolument indépendants. Le circuit monophasé peut être surchargé jusqu'au court-circuit, sans influencer le système polyphasé.

P. L. C.

Causes et effets de la variabilité des éléments d'un circuit électrique, par **A. Della Riccia**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 159, juillet 1903.

Etant donnée une partie d'un circuit électrique contenant une résistance R, une inductance L et une capacité C en série, on a, en appelant v la différence de potentiel aux extrémités et i l'intensité du courant :

$$v = Ri + \frac{d}{dt}(Li) + \int \frac{i}{c}\, dt$$

Cette relation n'exige pas que les trois grandeurs R, L et C soient constantes et, à dire vrai, en pratique, elles ne le sont jamais rigoureusement. Dans le cas de tensions et de courants périodiquement alternatifs, elles sont périodiques sans être alternatives.

Dans les alternateurs à pôles saillants, dans les machines à influence à secteurs distincts, ces conditions purement géométriques produisent déjà respectivement des variations périodiques de l'inductance et de la capacité pendant la rotation de la partie tournante.

Mais d'autres raisons, d'origine physique produisent aussi des effets analogues, d'une façon plus ou moins sensible suivant les circonstances particulières. Par exemple, comme toute variation de la force magnétisante produit une variation de la perméabilité des matériaux magnétiques, donc toute variation de courant produit nécessairement une variation de l'inductance. De même, toute variation de la force électrique produisant une variation du pouvoir inducteur spécifique des diélectriques intercalés dans le circuit, toute variation de tension produit nécessairement une variation de capacité.

M. A. della Riccia démontre que si un circuit magnétique dépendant d'un circuit parcouru par un courant périodique i, donne lieu à une dispersion d'énergie, l'inductance L du circuit électrique doit être nécessairement périodique ; plus exactement elle doit contenir des composantes alternatives de fréquence double de la fréquence de certaines des composantes alternatives du courant i. La tension v qui se manifeste aux extrémités de l'inductance L renferme alors des composantes alternatives de fréquence triple de la fréquence de ces mêmes composantes du courant i.

De même, si un circuit électrique alimenté par une tension périodique v comprend des condensateurs qui donnent lieu à une dispersion d'énergie, la capacité C du circuit électrique doit nécessairement être périodique ; en outre, elle doit comprendre des composantes alternatives de fréquence double de la fréquence de certaines des composantes alternatives de la tension v et le courant i qui a lieu entre les extrémités de la capacité C, renferme alors des composantes alternatives de fréquence triple de celle de ces mêmes composantes de la tension v.

Il est rare que les appareils destinés à produire ou à utiliser l'énergie électrique ne contiennent pas dans leurs circuits magnétiques ou électrostatiques, suivant la nature des appareils mêmes, des matériaux magnétiques ou diélectriques qui donnent lieu à une dissipation partielle de cette énergie dans leur masse sous forme de chaleur ; il s'en suit qu'il est bien rare aussi que L et C soient vraiment constants.

Les phénomènes d'hystérésis magnétique et d'hystérésis ou de viscosité électriques, pratiquement inévitables, font abandonner la considération de L et C constants et donnent naissance à des harmoniques qui déforment les courbes par lesquelles on représente la suite des valeurs instantanées de la tension et du courant [1].

Un autre résultat intéressant peut être rapproché des précédents :

---

[1] Pour effectuer la démonstration de ce qui précède, l'auteur considère une partie de circuit contenant uniquement une conductance ou une capacité. Dans ce cas, on a

$$v = L\frac{di}{dt} + i\frac{dL}{dt},$$

ou

$$i = C\frac{dv}{dt} + v\frac{dC}{dt}.$$

Les deux cas peuvent être traités simultanément à condition de changer L, v et i en C, i et v respectivement pour passer du premier au second.

Digitized by Google

Même en l'absence d'une inductance ou d'une capacité quelconque dans le circuit, l'indication du wattmètre convenablement corrigée peut différer en moins du produit des indications du voltmètre et de l'ampèremètre également corrigées. Pour que cela aît lieu, il suffit que la résistance R soit périodique et comprenne des composantes alternatives de fréquence double de celle de certaines des composantes alternatives du courant i ; et la tension v qui a lieu aux extrémités de la résistance R renferme alors des composantes alternatives de fréquence triple de celle des mêmes composantes du courant i.

Ce cas se rencontre moins communément que le précédent, néanmoins il se présente encore assez fréquemment en pratique. On l'observe par exemple dans le cas des lampes à arc et des fours électriques alimentés par des courants alternatifs et cela d'autant mieux que la fréquence est plus basse : la section transversale de l'arc augmente à mesure que l'intensité du courant croît pour diminuer ensuite avec elle. Une telle circonstance suffit pour que la résistance subisse des variations inverses à celles des valeurs absolues du courant, en dehors de toute cause barométrique ou thermique instantanée. La résistance est donc effectivement périodique avec période moitié de celle du courant.

G. G.

TÉLÉGRAPHIE

La télégraphie sans fil d'après Fessenden, par l'ingénieur en chef des Postes **Lindow**. *Elektrotechnische Zeitschrift*. t. XXIV, p. 586 et suiv., 23 juillet 1903.

Tout récemment, le professeur Fessenden a attiré sur lui l'attention publique, à l'occasion des expériences de télégraphie sans fil qu'il a exécutées en Amérique, à la demande du Bureau central météorologique des Etats-Unis. D'après l'auteur, les résultats obtenus auraient éte très remarquables au double point de vue de la rapidité et de la sécurité des transmissions.

Fessenden prétend mettre en action dans ses appareils des ondes d'une espèce particulière ; mais il ne donne que des renseignements assez vagues sur la façon d'obtenir ces ondes et sur leur caractère particulier, tout en faisant remarquer qu'elles diffèrent très nettement des ondes hertziennes.

Fessenden a pris pour toute une série d'appareils des brevets dont nous détachons les extraits suivants comme particulièrement intéressants :

Tout d'abord, l'inventeur connecte avec l'antenne, simple conducteur aérien, un réseau de fils relié à la terre, d'une structure toute spéciale. Suivant ses idées, la conduction par la surface de la terre jouerait un grand rôle dans la transmission, et il prétend avoir trouvé que la surface sur laquelle se meuvent les ondes qu'il emploie doit être très conductrice, notamment dans le voisinage de l'endroit où ces ondes sont produites. La partie bonne conductrice de la surface doit s'étendre au moins à un quart de longueur d'onde dans la direction de la station réceptrice. Si la station d'envoi se trouve dans une ville et, plus généralement, à un endroit où les ondes pourraient être interrompues ou absorbées par des constructions, de hauts arbres ou d'autres obstacles, la partie bonne conductrice doit s'étendre encore plus loin, au delà des limites de ces obstacles, et consister en un réseau de bandes ou de fils métalliques reliés à la terre. De cette façon, la capacité de la station d'envoi doit rester constante, et en même temps elle est protégée contre les orages et autres troubles atmosphériques.

La figure 1 représente une telle disposition de

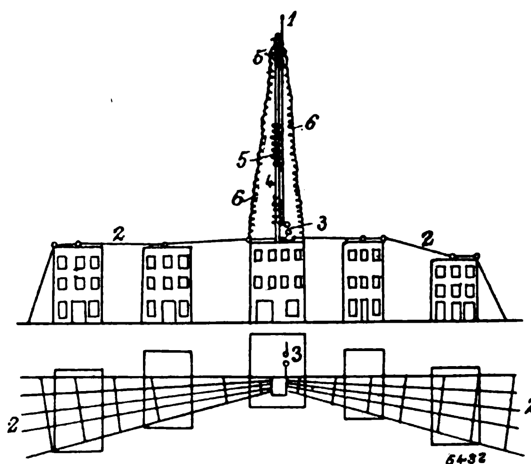


Fig. 1.

conducteurs. L'extrémité inférieure de l'antenne 1 est reliée au réseau de fils 2 par l'étincelle 3. L'antenne est dressée le long d'un mât 4 en fer ou en acier qui, sur toute sa longueur, ou au moins en plusieurs endroits, est entouré de fils isolés 5 ; la self-induction de ce mât est ainsi rendue considérable et la période propre de sa

Digitized by Google

vibration très différente de celle de l'antenne; cet artifice permet de se servir de matériaux conducteurs pour établir le mât. En outre, le mât et le gréement sont revêtus d'une chemise de métal non magnétique, zinc ou plomb, par exemple pour empêcher l'absorption des ondes par cette partie. Les consolidations du mât sont isolées de la terre, afin que leur période vibratoire naturelle soit aussi différente que possible de celle de l'antenne. La figure 1 donne également un plan de cette disposition.

Dans les cas où il est impossible de disposer de hautes antennes, Fessenden utilise, pour obtenir le même effet, une disposition particulière de conducteur aérien, relié au réseau conducteur artificiel déjà décrit. Il plonge un conducteur 1 en forme de tube (fig. 2) dans un milieu

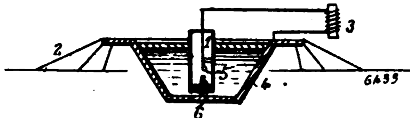


Fig. 2.

dont la constante diélectrique est plus grande que celle de l'air, dans de l'eau, par exemple, contenue dans un récipient conducteur 4. Pour empêcher l'évaporation de l'eau, le récipient est fermé par un couvercle de verre ou d'une autre matière isolante, ou bien l'eau est simplement recouverte d'une couche d'huile. Les pôles de l'étincelle sont dans le tube 1. L'un des pôles 5 est relié au tube, l'autre pôle 6 à la paroi. L'extrémité inférieure du tube est fermée par une plaque de matière isolante à travers laquelle passe le fil de connexion entre le pôle 6 et la paroi; celle-ci est mise à la terre. Le pôle 5 communique avec l'une des extrémités de l'enroulement secondaire d'un appareil d'induction 3, l'autre extrémité étant reliée au récipient; et c'est à ce récipient qu'aboutit le réseau de fils métalliques 2. Cette disposition, d'après l'auteur, permet d'accroître considérablement l'énergie des ondes électromagnétiques et leur portée.

Dans un autre appareil, Fessenden fait éclater l'étincelle dans un milieu *sous pression*. La pression du milieu ambiant permet de réduire beaucoup la longueur de l'étincelle, c'est-à-dire sa résistance, tout en augmentant la tension d'éclatement et par suite la portée des ondes. Jusqu'à une pression de 3,3 atmosphères Fessenden ne constata aucun accroissement de la portée; la pression atteignant 4 atmosphères, la portée commençait à croître; pour 5,3 atmosphères, elle était près de trois fois et demie ce qu'elle était à 3,3 atmosphères. Les pôles de l'étincelle sont dans une chambre 7 (fig. 3) reliée à une

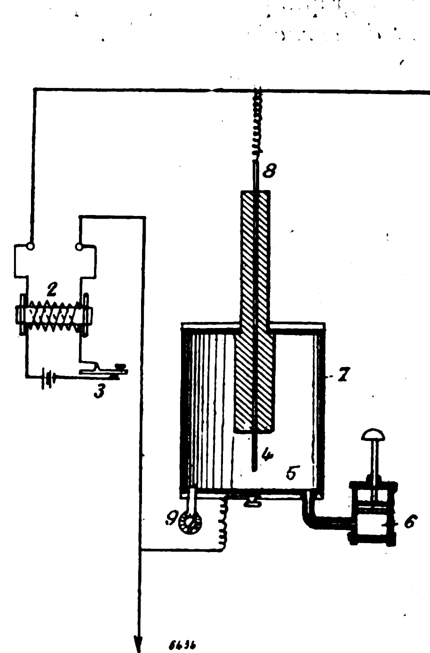


Fig. 3.

pompe 6, qui permet d'envoyer l'air ou le gaz employé dans la chambre et de l'y maintenir à la pression désirée, lue au manomètre 9. La surface de l'un des pôles doit être très grande par rapport à celle de l'autre; Fessenden a obtenu les meilleurs résultats en faisant éclater l'étincelle entre une plaque et une pointe. Le fond de la chambre 7 formait par conséquent le pôle 5, pendant que le pôle 4 était constitué par la pointe de la tige 8. Le pôle 4 est relié à l'antenne le pôle 5 à la terre.

Fessenden fait usage de cette disposition pour des distances supérieures à 450 km quand on emploie des antennes ordinaires et pour des distances de 180 km et au-dessus quand on opère avec des mâts de 7,50 m de hauteur.

La figure 4 donne une disposition schématique de station, avec laquelle Fessenden a obtenu des communications faciles jusqu'à 180 km; il espère avec les mêmes installations avoir de bons résultats jusqu'à 450 km et plus. A une distance de 90 km, on télégraphie avec cette

Digitized by Google

station aussi rapidement et aussi sûrement qu'avec une ligne aérienne ordinaire.

Les principales particularités de l'installation sont les suivantes :

1. Pendant la transmission, on produit à la station de départ un envoi d'ondes permanent. Les signes télégraphiques sont provoqués par le *changement du caractère des ondes.*

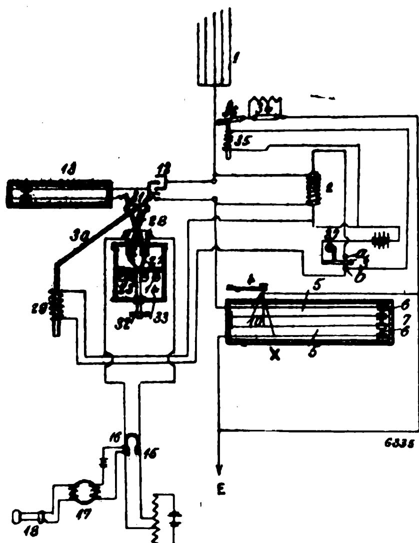


Fig. 4.

2. Les dispositions transmettrice et réceptrice sont reliées en permanence à l'antenne. Si l'appareil transmetteur est mis en activité, l'appareil récepteur d'ondes se déconnecte automatiquement; et inversement, lorsque le transmetteur ne fonctionne plus, le récepteur s'intercale de lui-même dans le circuit.

3. Le dispositif d'accord, réunissant la capacité et l'inductance dans un même appareil, diffère des formes utilisées jusqu'à présent.

4. Comme détecteur d'ondes, on emploie un appareil basé sur le principe du bolomètre, ce qui n'a pas encore été fait jusqu'ici dans la pratique de la télégraphie sans fil.

5. Une disposition particulière indique si une station est libre ou occupée.

Pendant qu'une station envoie, toutes les autres stations en sont averties.

Et une installation spéciale permet d'interrompre la station qui envoie.

Dispositifs de transmission. — L'antenne 1 (fig. 4) est reliée à une extrémité de l'enroulement secondaire d'un appareil d'induction 2 dont l'autre extrémité est à la terre. Le levier du commutateur 3 étant mis sur le contact *a*, l'appareil est à la position de transmission et la bobine d'induction est mise en activité permanente Pour la production des signes à transmettre, en alphabet Morse, une touche 4 est abaissée et relevée à la manière ordinaire, pendant des temps plus ou moins longs. Seulement au lieu d'établir et d'interrompre le courant par les mouvements de cette touche, Fessenden court-circuite plus ou moins un dispositif d'accord intercalé entre l'appareil d'induction et la terre. A chaque abaissement de la touche, la capacité et la self-induction sont chargées et la résonance précédemment établie entre le transmetteur et le récepteur est détruit.

Bien entendu, il est possible également de faire fonctionner l'appareil par des fermetures et des interruptions de courant.

Dispositif d'accord (fig. 4 et 5). — Pour

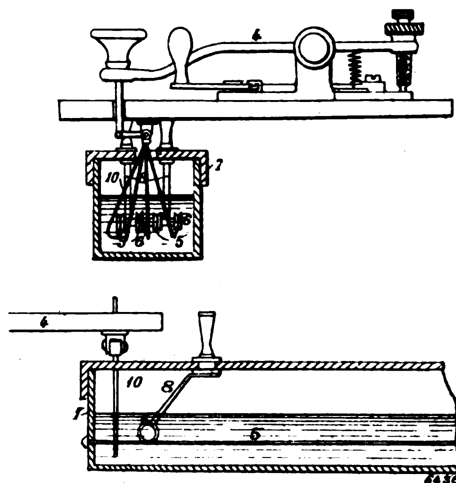


Fig. 5.

obtenir des ondes sinusoïdales pures, dit l'auteur, le rapport entre la self-induction et la capacité par unité de longueur doit être approximativement le même dans toutes les parties du fil transmetteur. C'est pour arriver à ce résultat que Fessenden a renoncé à l'emploi de bobines d'accord qu'il remplace par plusieurs paires de fils métalliques 5 tendus parallèlement, montés en série, et disposés serrés les uns contre les autres. Ces fils sont placés dans une caisse 7 contenant de l'huile. Plusieurs contacts mobiles reposent sur les deux fils de chaque paire et établissent une liaison conduc-

Digitized by Google

trice entre ces fils. Cette disposition permet de faire varier la self-induction et la capacité de l'ensemble jusqu'à ce que l'accord désiré soit obtenu entre les deux postes.

Les contacts mobiles 6 (fig. 5) sont des tiges portant aux deux bouts des disques à gorge appuyés sur les fils 5 par des bras 8 qu'on peut déplacer le long d'une échancrure pratiquée dans le couvercle de la boîte.

Le trouble de la résonance, nécessaire à la production des signes, est causé par l'abaissement de la touche 4, pourvue de l'appendice 10. Lorsque cette touche, reliée à la terre, est abaissée, l'appendice presse contre un des fils de la grille d'accord et met ainsi en parallèle avec tout l'appareil une certaine portion du dispositif d'accord.

Si la touche est munie de plusieurs appendices semblables mis en contact l'un après l'autre, avec un ou plusieurs fils et en différents endroits, une partie plus ou moins grande de la self-induction et de la capacité sera mise en dérivation à chacun des contacts, et on conçoit qu'avec cette disposition deux mêmes stations puissent communiquer en partant de tons d'accords différents, en nombre égal à celui des appendices de la touche. Si, par exemple, cette touche a 4 appendices, ainsi que le représentent les figures 4 et 5, dans un seul abaissement de la touche, les 4 bras viennent l'un après l'autre, à des endroits distincts, en contact avec les fils de la grille d'accord ; dans un seul mouvement, la self-induction et la capacité du système sont chargés quatre fois ; et une station quelconque, pour recevoir les signes correspondants aux mouvements de manipulateurs pourra être accordée sur l'une ou l'autre des périodes vibratoires du transmetteur qui, d'ailleurs, lui seront connues à l'avance.

Si, deux stations A et B communiquant entre elles, une troisième station C a découvert d'une d'une manière quelconque l'accord en usage entre A et B et veut en profiter pour troubler la correspondance, dès que la station B s'en aperçoit, elle n'a qu'à établir sa réception sur une des autres périodes vibratoires de la station A ; et, comme C ignore que le changement d'accord a été opéré à la station B, la correspondance entre A et B pourra continuer sans risquer d'être troublée à nouveau. On voit que, suivant les cas, les signes peuvent être obtenus soit par le trouble de la résonance existant entre les deux postes, soit au contraire par l'établissement de l'accord.

Dispositifs de réception (fig. 4 et 6). — Pour passer de la position de transmission à celle de réception, il suffit de mettre le levier du commutateur 3 (fig. 4) sur le contact *b*.

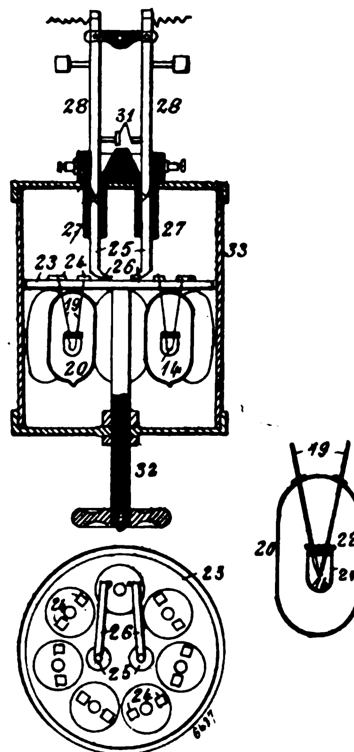


Fig. 6.

Le circuit récepteur comprend l'antenne 1, le condensateur 12, une capacité-inductance 13 disposée comme la grille d'accord X et l'indicateur 14. Ces appareils sont montés en série ; l'accord X a une extrémité à la terre, comme il a déjà été mentionné ; le condensateur et le dispositif 13 sont en dérivation sur l'étincelle.

Parallèlement à l'indicateur est monté un téléphone 15 dans lequel les changements provoqués dans l'indicateur sous l'influence des ondes sont transformés en sons perceptibles à l'oreille.

Pour augmenter la sensibilité de l'appareil, à l'écouteur est relié un contact microphonique 16 influencé par la membrane vibrante.

Ce contact se trouve dans le circuit de l'enroulement primaire d'un transformateur 17 dont le secondaire est relié à un téléphone 18.

Indicateur (fig. 6). — Comme, pour la récep-

Digitized by Google

tion de chaque signe, l'indicateur doit sortir très rapidement de son état normal et y retourner rapidement, il faut que les changements provoqués dans cet indicateur se produisent presque instantanément et ne dépendent que de la durée de la transmission du signe. Fessenden a réalisé un appareil qui grâce à une faible résistance au passage des ondes, s'échauffe un peu, accroît par là sa résistance, et de plus est capable de se refroidir de nouveau très rapidement. Ces conditions sont remplies par un fil court et mince qui utilise toute l'énergie des ondes, s'échauffe rapidement sous leur influence, et peut céder rapidement la chaleur produite. Fessenden prend un fil d'argent de 2,5 mm de diamètre avec une âme de platine de 0,075 mm qu'il étire jusqu'à ce que le diamètre extérieur du fil d'argent soit réduit à 0,051 mm et le noyau de platine à 0,00152 mm. Un petit brin de ce fil 14 est courbé en boucle (fig. 4 et 6) et relié à des fils de platine 19. Le sommet de la boucle est plongé dans l'acide nitrique qui dissout l'argent à cet endroit et libère l'âme de platine de son enveloppe, mais sur une faible longueur seulement. Au lieu du platine et de l'argent, on peut employer d'autres métaux : le nickel ou le fer, par exemple, à la place du platine, et l'or ou l'aluminium pour remplacer l'argent.

Fessenden donne à la boucle une longueur de 0,25 mm qui correspond à une résistance de 30 Ω, très faible résistance comparée à celle d'un cohéreur. La boucle est enfermée dans une ampoule de verre 20 d'environ 13 mm de diamètre et 25 mm de longueur.

La sensibilité du récepteur est considérablement accrue lorsque l'ampoule est vide d'air. Pour empêcher le rayonnement calorifique, une petite capsule d'argent 21 est posée sur la boucle et fixée aux fils d'introduction par une petite lame de verre 22.

L'appel d'une station a lieu par une longue série d'ondes se succédant régulièrement. Pour obtenir à la station réceptrice un signal prolongé capable de mettre en activité un mécanisme d'appel, on emploie une boucle moins sensible qui retient la chaleur plus longtemps, n'est pas en état de suivre de rapides changements de courant, et par suite fait réunir en un seul signe de longue durée les signes distincts arrivant à la station.

Plusieurs ampoules réceptrices, sont disposées sur un disque mobile d'ébonite. Les fils d'introduction de ces ampoules sont reliés aux petites plaques de contact 24 portées par le disque. Sur ces plaques appuient les tiges 25 par leurs extrémités recourbées 26.

Sur les tiges 25 fixées à des appendices 27 de matière isolante reposent les tiges métalliques 28 dont les extrémités sont reliées d'un côté avec l'appareil d'accord 13 (fig. 4), de l'autre côté à l'un des pôles de l'étincelle ou à la grille d'accord X. Les tiges 28 peuvent être levées et abaissées et par là interrompre ou établir la liaison avec les tiges 25, c'est-à-dire enlever les ampoules du circuit ou les rétablir. Ce double mouvement résulte automatiquement de l'intercalation ou de la suppression de l'appareil d'induction 2 au moyen du commutateur 3. Si le levier est sur le contact *a*, la bobine est en activité. Si le levier est en *b*, un circuit est fermé contenant le solénoïde 29 dont le noyau est attiré vers le haut ; le levier 30 presse les tiges 28 vers le bas et établit leur liaison avec l'indicateur qui se trouve ainsi dans le circuit récepteur.

Lorsqu'on remet le levier sur le contact *a* pour la transmission, les tiges 28 sont portées vers le haut et déconnectent l'indicateur. En même temps, les contacts 31 sont pressés l'un contre l'autre et referment le circuit dérivé : condensateur 12, dispositif d'accord 13.

Si un indicateur a été détérioré ou si l'on doit employer un récepteur de sensibilité différente, une autre ampoule est mise en circuit en tournant le disque d'ébonite 23 au moyen de la manivelle 32. Comme les indicateurs sont extrêmement sensibles, on les protège contre les troubles électriques accidentels venant de l'extérieur en renfermant l'ensemble dans une caisse métallique 33 dont le couvercle laisse passage aux gaines isolées des tiges 28.

Fessenden emploie également un parafoudre Varley 34 (fig. 4) qui est déconnecté pour la transmission. Quand l'appareil est disposé pour la réception, le levier du commutateur 3 étant mis en *b*, la batterie figurée envoie du courant dans le solénoïde 35 dont le noyau est attiré et relie ainsi à l'antenne le levier 36. Le parafoudre consiste en un petit tube d'environ 3 mm de diamètre inférieur, rempli de limaille d'un alliage d'or avec 5 p. 100 de bismuth ; les pôles de ce cohéreur sont en platine iridié. Le cohéreur non conducteur à l'état normal, devient

Digitized by Google

conducteur sous l'influence de l'électricité atmosphérique qui peut ainsi s'écouler directement à la terre. Le retour du cohéreur à l'état normal est obtenu par le choc.

Fessenden utilise aussi un autre parafoudre composé d'un anneau d'aluminium ou d'argent reposant sur des tiges d'alliage or-bismuth (voir ci-dessous 15, fig. 8).

Les dispositions particulières sont employées pour indiquer si une station travaille ou si elle est libre. Si, par exemple, la station A est au repos, le levier du commutateur 3 (fig. 4) est couplé avec un mécanisme d'horlogerie 37 qui relie le levier au contact *a*, à des intervalles réguliers et pendant un temps déterminé ; des ondes de la période propre de la station sont ainsi envoyées régulièrement et pendant une durée déterminée. Lorsque la station A travaille, le mécanisme d'horlogerie est déconnecté.

Quand une autre station veut savoir si A est occupée, elle accorde son récepteur sur A et observe si A donne le signal du repos. Si A est occupée avec une autre station, des ondes de la vibration propre de A sont également expédiés, aussitôt que la touche 4 retourne à sa position de repos, et cela tant que l'accord n'est pas détruit.

Autres dispositifs de réception. — Fessenden a établi, en se servant de l'indicateur à boucle,

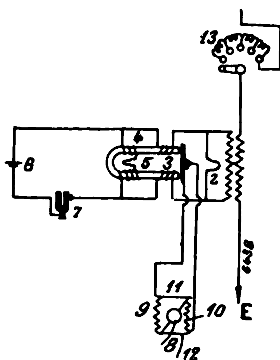


Fig. 7.

une série d'appareils récepteurs dont l'un est représenté en figure 7.

L'indicateur 2 est relié indirectement à l'antenne au moyen d'un transformateur. Parallèlement à lui est monté un écouteur à enroulement différentiel dont les bobines 3 et 4 sont enroulées en sens inverse. Dans l'un des circuits est mise comme résistance une boucle 5 semblable à la première. Les deux circuits sont équilibrés.

La source de courant 6 et le diapason 7 produisent dans les deux enroulements des courants intermittents ; mais comme ces circuits sont équilibrés, aucune action ne se produit à l'état normal sur la membrane du téléphone. Si une onde électromagnétique passe par la boucle 2, celle-ci s'échauffe, sa résistance croît, le courant dans le circuit qui contient la bobine 3 est affaibli, et l'équilibre des circuits étant rompu on perçoit dans l'écouteur des bruits correspondant aux interruptions de courant, aussi longtemps que la boule 2 reste sous l'influence des ondes.

Pour recueillir des signaux écrits avec cette disposition, Fessenden emploie un circuit local actionnant un siphon recorder. Une petite feuille de charbon est fixée sur la membrane de l'écouteur, et sur cette feuille appuie légèrement une pointe de charbon. Une batterie locale envoie en permanence un courant passant par ce contact microphonique et par un pont de Wheatstone dans la diagonale duquel est un siphon recorder, en repos à l'état normal. Des quatre branches du pont, toutes peu résistantes 9 et 10 ont une forte self-induction, 11 et 12 une très faible. Pour de brusques changements de courant, tels qu'ils sont produits par le mouvement de la membrane à la réception d'un signe, l'équilibre est rompu dans le pont ; le courant croissant ne peut pas passer par les branches 9 et 10 ; il prend le chemin 11-8-12, et met ainsi le recorder en activité.

Une autre disposition réalisée particulièrement pour faciliter l'appel de la station est représentée en figure 8. Un bouchon mis entre les bandes 3 et 4 d'un commutateur intercale dans la diagonale d'un pont de Wheatstone un relais ordinaire dont le fonctionnement met en activité un appel 6. Trois branches du pont sont constituées par les résistances 8, 9, 10, la quatrième par la résistance 7 et la boucle 2 montées en parallèle. A l'état normal, le pont est sans courant. Si des ondes parviennent de l'antenne à la boucle 2, sa résistance augmente, l'équilibre du pont est détruit, le relais 16 est attiré et met en action l'appel 6. Dès qu'on entend ce dernier résonner, le bouchon du commutateur est changé de place et

Digitized by Google

mis entre les bandes 4 et 5; l'appareil se trouve disposé pour la réception. 13 et 14 représentent une inductance et une capacité variables,

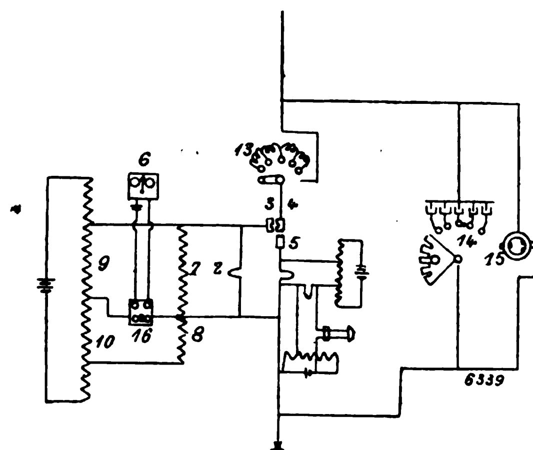


Fig. 8.

15 le parafoudre à anneau dont il a déjà été question.

Nous citerons enfin une dernière disposition dans laquelle les signaux enregistrés sont dus à des actions chimiques produites sur une bande de papier spécial par les radiations émanées du

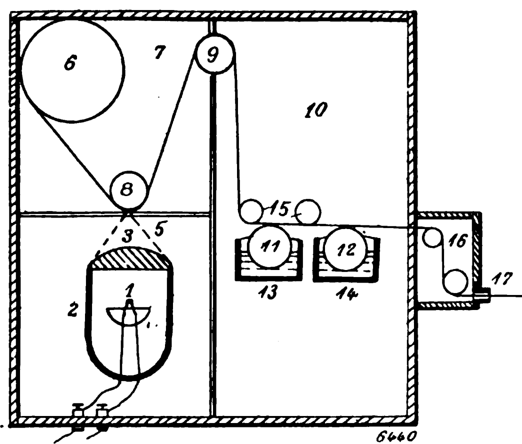


Fig. 9.

récepteur. Fessenden emploie également dans ce cas un récepteur en boucle 1 (fig. 9). Pour concentrer les rayons sur la bande, la boucle est renfermée dans une capsule 2 à parois opaques, dont la partie supérieure tournée vers la bande est fermée par une lentille 3. Un miroir concave 4, placé derrière l'indicateur, renvoie les rayons sur la lentille. Au foyer de cette lentille est pratiquée dans la paroi de l'étui 5 une ouverture devant laquelle se déroule la bande. Cette bande est préparée de façon à subir des rayons lumineux ou calorifiques, une action chimique particulière. Le papier photographique convient le mieux à cet usage. La bande de papier, partant de 6, passe sous le rouleau-guide 8 devant l'ouverture qu'elle ferme complètement, et, après avoir été impressionnée par les rayons sortant de la lentille 3, arrive dans la chambre 10 où le signe est développé et fixé. Les liquides nécessaires au développement et à la fixation de l'image sont contenus dans les récipients 13 et 14 et portés sur la bande de papier par les rouleaux 11 et 12. La bande est séchée dans la chambre 16 et sort de l'appareil par la fente 17. Le mouvement de cette bande est entretenu par un mécanisme d'horlogerie actionnant un des rouleaux. Les différentes chambres sont naturellement fermées hermétiquement à la lumière.

Remarque. — Lorsqu'on emploie les dispositions réceptrices des figures 7, 8 et 9, les signaux sont dus à des envois d'ondes correspondant aux mouvements du manipulateur et non à des troubles intermittents de l'accord pendant un envoi d'ondes permanent.

ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

Déperdition électrique par les temps couverts par **A. Gockel.** *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 267-270, février 1903.

Les expériences ont été effectuées au sommet du Brienzer Rothhorn, à l'altitude de 2300 m. Pendant les huit jours qu'elles ont duré, le ciel n'a jamais été entièrement clair : mais le brouillard a été toujours assez peu épais pour laisser apercevoir le ciel et la plupart du temps était balayé par le vent, de façon que le sommet était alternativement tout à fait enveloppé ou tout à fait dégagé.

L'intensité du champ électrique terrestre était très irrégulière, dépendant de la violence du vent et de l'épaisseur du brouillard.

Le jour où le temps est resté clair, sans que cependant le brouillard disparût de la vallée, le rapport $\frac{a_n}{a_p} = q$ des vitesses de déperdition négative et positive a augmenté assez régulièrement, sauf un léger temps d'arrêt aux environs de midi. Cette dernière dépression se produit à une heure un peu plus tardive que celle

Digitized by Google

observée par Ebert dans la plaine. Dans la soirée, on constate un maximum de q, comme dans le Sahara (Gockel) et sur le plateau bavarois. Ce maximum et cette dépression sont en relation avec la diminution du champ électrique à midi et l'augmentation rapide dans la soirée.

Les brouillards épais, humides, enveloppant complètement la montagne abaissent la vitesse de déperdition tant négative que positive : mais la diminution est plus marquée pour la déperdition négative. La diminution est moins accentuée quand le brouillard recouvre seulement les flancs de la montagne, en laissant libre le sommet.

Cet effet du brouillard est en sens contraire de celui qu'on observe dans la plaine.

Une légère brume, qui obscurcissait la vue, n'avait aucune influence sur la déperdition, tandis que les brumes d'automne et d'hiver dans la plaine ont une action presqu'égale à celle des brouillards épais.

Ces diverses observations s'expliquent par le fait que le brouillard retient les ions positifs qui se dirigent vers le sol. La présence des ions positifs en excès accroît la vitesse de déperdition des charges négatives.

On a constaté souvent qu'au sommet de la montagne, la présence du brouillard provoque une forte diminution de q. Par le beau temps existe au sommet de la montagne un excès d'ions positifs : par le brouillard, il n'en est plus de même ou du moins ces ions ne sont plus en aussi grand nombre, ainsi que le montrent les mesures du champ électrique.

D'autre part, il est certain que les ions positifs se dirigeant vers le sol sont en plus grand nombre sur les hauts sommets que dans la plaine. Il faut donc admettre que dans le brouillard s'est produite déjà une séparation entre les ions négatifs qui servent de noyaux de condensation et les ions positifs qui restent mobiles. Le vent entraîne ces derniers : les ions négatifs accompagnent les gouttes de pluie. Aussi les pluies légères apportent au sol surtout de l'électricité négative : l'approche d'un nuage de pluie amène une diminution et même parfois un changement de signe du champ électrique.

Pour expliquer la présence des ions positifs dans le brouillard, on peut admettre qu'ils forment aussi des noyaux de condensation dans la vapeur sursaturée, et sont entravés dans leurs mouvements.

Le grand excès d'ions positifs observé dans les brouillards n'est sans doute pas exclusivement le fait de ceux-ci. Les brouillards d'automne et d'hiver se trouvent presque toujours dans un anticyclone, caractérisé par des courants d'air descendants. Ces courants renferment toujours des ions en excès, empruntés sans doute aux régions supérieures de l'atmosphère, où il en existe constamment.

Inversement, les courants d'air ascendants doivent emporter avec eux des ions négatifs. En réalité c'est, à de rares exceptions près, quand le baromètre descendait, c'est-à-dire quand les courants d'air étaient ascendants, que l'auteur a observé à Fribourg (Suisse) des valeurs de $q < 1$.

Il serait à rechercher s'il existe une relation entre la hauteur barométrique et l'entraînement des ions par l'air.

M. L.

Contribution à la théorie des paratonnerres, par **A. Schortau.** *Elektrotechnische Anzeiger*, t. XX, n° 75, p. 2313-2314, 17 septembre 1903.

Dans la plupart des paratonnerres actuellement usités, on emploie des fils de cuivre d'une section ronde, bien que de temps en temps du fer plat soit également employé à cet effet. Les nombreuses expériences que l'auteur a faites dans son laboratoire, ainsi que les résultats qu'il a obtenus dans la pratique, lui ont démontré que les circuits de paratonnerres en fer plat offrent des garanties de sûreté plus sérieuses que ceux en cuivre rond. En voici la démonstration théorique :

D'après Faraday, toute charge électrique que porte un corps ressemble par sa nature à un condensateur ou une bouteille de Leyde; aussi les phénomènes de charge et de décharge sont identiques, à conditions égales. On sait que M. Federsen a démontré par voie photographique que les décharges disruptives sont de nature oscillatoire. Les vues photographiques prises par cet expérimentateur font voir par les variations régulières dans l'intensité lumineuse un mouvement de va-et-vient de l'électricité et un évanouissement graduel de l'intensité des étincelles individuelles, alors que l'ensemble de ces phénomènes se présente à notre œil sous la forme d'une étincelle totale s'évanouissant rapidement. C'est pourquoi les éclairs peuvent être regardés comme la décharge oscillatoire d'un

Digitized by Google

condensateur dont l'air est le diélectrique, alors que les nuages et la terre font fonction d'armatures. C'est pourquoi ces décharges oscillatoires constituent des courants alternatifs à périodes infiniment petites et fréquences infiniment grandes.

D'après la théorie de M. Poynting, les courants alternatifs à haute fréquence ne se propagent qu'à la surface d'un conducteur; le courant diminue depuis la surface vers l'intérieur du conducteur, ce qui entraîne une augmentation apparente de la résistance de ce dernier. Cette résistance apparente, désignée sous le nom de *skin effect*, se calcule par la formule $R = \omega \sqrt{\pi n l \mu q}$, où ω est la résistance ohmique, n la fréquence, l la longueur, μ la perméabilité et q la section du conducteur. Il en résulte que la résistance apparente s'accroît comme la racine carrée de la fréquence. La condensation des courants de haute fréquence sur les parties extérieures d'un conducteur s'observe avec une intensité tout particulièrement grande dans le cas des métaux magnétiques, et surtout pour des fréquences très basses. Cette condensation, déterminée par M. J.-J. Tomsen, diminue depuis la surface vers les parties centrales en mesure carrée, lorsque la distance de cette surface s'accroît en mesure arithmétique. Cette diminution, pour tout point éloigné de la surface, à l'intérieur du conducteur, est $F = \frac{2\pi\sqrt{\mu n}}{c}$, où μ est encore la perméabilité, n la fréquence et c la résistance spécifique. Il en résulte que les courants alternatifs d'une fréquence infiniment grande ne pénètrent dans le conducteur que pour une petite fraction d'un millimètre. Aussi la résistance spécifique ne joue qu'un rôle peu important, c étant relativement petit en comparaison de n. En vue de diminuer la condensation des courants alternatifs à haute fréquence, il est bon de donner aux conducteurs la forme d'un large ruban métallique, offrant l'avantage d'une surface plus grande. Ces avantages s'accroissent ultérieurement, parce que l'inductance s'en trouve abaissée. M. M. Wien a démontré dès 1894 qu'un ruban en feuille métallique présente une inductance bien plus petite qu'un fil rond, à égalité de longueur et de section. Le tableau suivant représente quelques-uns des résultats de ce physicien :

Largeur b du ruban.	INDUCTANCE du ruban de zinc mesurée.	calculée.	du fil
11,5 mm	483,8 cm	488,9 cm	568,9 cm
21,5 mm	428,5 cm	430,2 cm	535,5 cm

De tout cela il résulte à l'évidence que la substance dont sont faits les circuits de paratonnerre sont sans grande importance et que c'est au contraire la forme géométrique du conducteur qui détermine les qualités du circuit qui le plus avantageusement est constitué par du fer plat, mince, tel qu'on le trouve dans le commerce dans des pièces allant jusqu'à 50 m de longueur. C'est ainsi qu'on utilise le mieux le *skin effect* et qu'on amoindrit l'inductance dans une mesure notable.

Puisqu'il convient que l'inductance et la résistance ohmique soient aussi petites que possible pour des surfaces maxima et que d'autre part la résistance ohmique est toujours bien plus petite que la résistance apparente et l'inductance, l'auteur conseille de vérifier les installations en cause non pas par des mesures de la résistance seule, également par des déterminations de l'inductance. En vue d'assurer un contact aussi parfait que possible, il convient d'interposer une feuille d'étain forte et lisse entre les deux surfaces.

L'emploi des barres de fer plat offre encore l'avantage d'être plus économique que celui du fil de cuivre; de plus ce système s'attache et se monte mieux et plus rapidement. A. Gradenwitz.

DIVERS

Variation de température dans le champ magnétique, par **E. Aschkinass**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 206-207, janvier 1903.

Nernst a signalé une déviation des lignes isothermes sous l'influence d'un champ magnétique. Cette déviation s'explique par le diamagnétisme de l'air chaud.

Le dispositif expérimental est à peu près identique à celui de Nernst. Un barreau de métal (la nature du barreau et ses dimensions n'ont pas d'importance) est disposé horizontalement entre les pôles d'un électroaimant, dont le champ est vertical. On observe la température à l'aide d'un thermomètre à mercure en verre mince ou d'un couple constantan-cuivre.

Les variations de température constatées sont

Digitized by Google

d'accord avec celles qu'a trouvées Nernst, à cela près qu'elles ne sont pas limitées, comme le dit ce dernier, au plan mené par le barreau parallèlement aux surfaces polaires. La température s'abaisse aux points où le champ est le plus intense, s'élève aux points où il est le plus faible. Les courants d'air chaud sont déviés par le champ, comme un corps diamagnétique. En raison de la diminution de la perméabilité de l'air, causée par l'élévation de température, l'air chaud est diamagnétique vis-à-vis de l'air froid.

Cette diminution de perméabilité très marquée pour l'air, l'oxygène, le gaz de l'éclairage, est inappréciable pour l'azote et le gaz carbonique. Or, dans ces deux derniers gaz, on ne constate pas de variation de température dans le champ magnétique : ce qui confirme l'explication proposée. En favorisant la production des courants d'air, on augmente la grandeur des différences de température, qui peuvent atteindre jusqu'à 50°. M. L.

Végétation dans un sol ionisé, par **A.-B. Plowman.** *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 210-211, janvier 1903.

Un courant de 0,003 ampère, passant pendant 20 heures ou plus, tue les graines de lupin placées du côté de l'anode et n'altère pas d'une façon appréciable celles qui sont du côté de la cathode. Si les graines sont placées dans l'eau, la différence est encore plus accusée. Au bout de 20 heures pourtant, toutes les graines sont tuées, mais d'une manière générale, il faut toutes choses égales d'ailleurs un temps plus long pour obtenir ce résultat à la cathode. Tant que le courant ne dépasse pas 0,08 ampère, les jeunes plants poussent plus vite.

Les plants de lupin âgés de quatre semaines s'étiolent et meurent quand on charge le pot qui les renferme à + 500 volts. Au contraire, si le pot reçoit une charge négative, la végétation est activée.

Quand les plants poussent dans un terrain humide, les racines se tournent du côté de l'anode.

En général, la plante est électropositive par rapport au sol dans lequel elle croît. Il semble que pendant la végétation, le sol cède des ions négatifs à la plante. Toute circonstance qui favorise ou empêche ce transport active ou paralyse la végétation.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (1)

Sur les unités de mesure électrochimiques, par le Dr **W. Nernst.** *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 685, 20 août 1903.

L'auteur présente les propositions de la Société allemande Bunsen relativement à la désignation de certaines grandeurs électrochimiques. Ces propositions ont été traduites en trois langues avec la collaboration de M. Marie, de Paris, et de M. Noyes, de Boston. Le tableau suivant exprime ces grandeurs.

VARIABLES

p, P Pressions ordinaire et osmotique.
v Volume.
T Température absolue.
θ Température centigrade.
t Temps.
δ Densité.
Δ Densité de vapeur par rapport à l'air.
π_0, φ_0, δ_0 Grandeurs critiques (pression, volume, température).
π, φ, δ Grandeurs réduites (pression, volume, température).
Q Quantité de chaleur.
V Energie interne.
a Poids atomique ($O = 16$).
M Poids moléculaire ($O^2 = 32$).
c Chaleur spécifique.
c_p, c_v Chaleurs spécifiques à pression constante ou à volume constant.
$C_p = c_p M$, $C_v = c_v M$ } Chaleurs moléculaires à pression constante ou à volume constant.
N Coefficient de rupture.
χ Conductibilité rapportée au centimètre cube.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 398, 5 septembre 1903.

η Concentration (équivalent-gramme par centimètre cube).

$\Lambda = \frac{\chi}{\eta}$ Conductibilité équivalente.

Λ_{∞} Conductibilité équivalente, pour une dilution infinie.

γ Degré de dissociation.

K Constante d'équilibre de la loi d'action chimique des masses.

E Tension.

W Résistance.

I Intensité de courant.

ε Potentiel unique, tension de décomposition.

ε_h Potentiel par rapport à l'électrode-normale-hydrogène.

ε_c Potentiel par rapport à l'électrode-normale calomel.

Constantes

R Constante des gaz par molécule.

A Equivalent mécanique de la chaleur 41,89. 10^6 ergs, pour 15°, gr. cal.

F Charge d'une valence (96540 coulombs par équivalent-gramme).

Abréviations dans le texte

$2n.H^2SO^4$ signifie acide sulfurique binormal-équivalent.

$H^{\cdot}$ Cl' $Ba^{\cdot\cdot}$ expriment l'ion-hydrogène chargé positivement, l'ion-chlore chargé négativement, et l'ion-baryum possédant deux charges positives.

En dehors de ces désignations internationales, la Société Bunsen propose en outre quelques abréviations allemandes.

Rapport présenté par la Commission instituée par le Congrès de 1900, en vue de la désignation des grandeurs fondamentales de l'électrochimie, par le professeur **C. Marie**, de Paris. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 686, 20 août 1903.

L'auteur résume les travaux de cette Commission qui était composée, comme on le sait, de MM. Moissan, Blondin, Guntz, Hollard, Gall, Lippmann, Le Blanc, Classen, Etard, Palmaer, Brochet, Lebeau, Muller, Marie.

Nous n'insisterons pas sur ces travaux, le compte rendu en ayant déjà paru antérieurement [1] dans ce journal.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 271.

C. Marie discute ensuite les propositions de Nernst sur lesquelles Guntz et Muller ont présenté les observations suivantes :

1° Ces auteurs demandent que l'on renonce aux caractères gothiques qui sont difficiles à écrire dans un manuscrit ;

2° Ils proposent d'utiliser le caractère *s* pour désigner le poids spécifique des solutions, par rapport à l'eau à 4° C. ;

3° Ils proposent aussi de choisir le signe δ pour le degré de dissociation électrolytique et le coefficient d'ionisation.

Discussion. — A. Noyes, de Boston, combat les propositions de la Société Bunsen, présentées par Nernst. Le plus grand grief qu'il trouve contre elles, est d'être incomplètes et de ne pas mentionner les grandeurs tout à fait fondamentales, comme la masse, l'énergie, le travail, l'entropie, la force, la vitesse, l'accélération, la surface, l'angle, le nombre de molécules, la vitesse de réaction, la solubilité, etc.

Comme deuxième objection, l'auteur trouve que les notations proposées ne forment pas un système rationnel. Il voudrait, par exemple, voir désignées par le même type de caractères les grandeurs électriques d'une part, les grandeurs optiques d'autre part, etc.

Enfin l'auteur fait remarquer qu'avant le Congrès, une Commission internationale aurait dû en délibérer. Il propose un système qui, par l'emploi de quatre alphabets différents, permet de désigner les grandeurs les plus importantes de la chimie-physique.

Ce système est le suivant :

a Accélération.
a, *b* Constantes de Van der Waals.
c { Facteur de capacité pour énergie. / Concentration en grammes. }
d Différentielle.
e Base des logarithmes naturels.
g Accélération de la pesanteur.
h Hauteur.
i { Facteur d'intensité pour énergie. / Coefficient de Van't Hoff. }
j Constante de gravitation.
k Constante de vitesse de réaction.
l Longueur.
m Masse ou poids.
n Coefficient moléculaire.
p Pression.
q Chaleur de réaction.

Digitized by Google

r Rayon.
s Surface ou section.
t Température.
u Vitesse.
v Volume.
x Fraction (par ex. teneur, dissociation, etc.).
A Poids atomique.
C Concentration moléculaire.
D Densité.
E Energie.
F Force.
H Capacité calorifique.
J Equivalent mécanique de la chaleur.
K Constante d'équilibre.
L Chaleur de fusion ou de vaporisation.
M Poids moléculaire.
N Nombre de molécules.
P Pression osmotique.
Q Dégagement de chaleur.
R Constante des gaz.
S Solubilité.
T Température absolue.
U Energie interne.
V Volume des substances non gazeuses.
W Travail.
A Poids équivalent.
C Concentration équivalente.
E Force électromotrice.
I Intensité du courant.
K Constante diélectrique.
L Conductibilité.
M Quantité magnétique.
N Nombre d'équivalents.
Q Quantité d'électricité.
R Résistance.
T Temps.
U Vitesse des ions.
V Potentiel électrique.
α { Angle de rotation. / Coefficient empirique.
β { Coefficient d'absorption. / Coefficient empirique.
γ Tension superficielle.
ε Module d'élasticité.
δ Angle.
ι Intensité lumineuse.
$\varkappa$ { Coefficient de compression. / Rapport des capacités calorifiques.
λ Longueur d'onde de la lumière.
μ Micron.
ν Indice de rupture.
π Rapport de la circonférence au diamètre.
ρ Rupture spécifique.
ω Vitesse de la lumière.

Le professeur Nernst soutient les propositions de la Société Bunsen et à la fin de la discussion, sur la mise aux voix, l'Assemblé accepte à l'unanimité ces propositions.

Le président fait également voter sur la nomination d'une Commission internationale de cinq membres, nommés par le président (proposition Noyes). Cette proposition est repoussée.

L. Jumau.

Sur les variations de résistance électrique des matières autres que le sélénium, sous l'influence de la lumière, par **L. Ancel**, de Paris. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 695, 20 août 1903.

Les nouvelles recherches sur cette question, en particulier celles de Ruhmer ont montré qu'en dehors du sélénium, d'autres substances telles que le tellure, le noir de fumée, des métaux en plaques minces subissent des variations de résistance sous l'influence de la lumière.

Le sélénium, malgré sa grande sensibilité, présente certains inconvénients dans la construction de récepteurs radiophoniques : il est cher, il a une grande résistance, il présente souvent une conductibilité électrique irrégulière, et perd ses intéressantes propriétés sous l'influence des extra-courants d'ouverture, ainsi que l'a montré Giltay.

Le noir de fumée n'a pas ces défauts, mais il est moins sensible à la lumière que le sélénium. Si on recouvre le sélénium de noir de fumée, on obtient un système qui, ainsi que l'a constaté Tomlinson, présente une plus grande sensibilité que les deux corps pris individuellement.

En ce qui concerne la variation de conductibilité électrique, il est prouvé que la lumière agit sur le tellure et les plaques minces métalliques en sens inverse de la chaleur, tandis que l'action se fait dans le même sens pour le noir de fumée et le sélénium.

L'explication de ces faits est très difficile. L'analyse chimique montre qu'il n'y a aucune variation moléculaire ; d'autre part, les propriétés physiques ne varient pas. Des recherches non encore terminées tendent à montrer que la lumière agit sur les récepteurs photophoniques de la même manière que les ondes hertziennes sur les cohéreurs auto-décohérants qui sont employés dans la télégraphie sans fil. Les phéno-

Digitized by Google

mènes produits par les rayons lumineux reposeraient d'après cela sur une sorte d'équilibre moléculaire instable, qui disparaîtrait rapidement, mais pas brusquement après l'action de la lumière. Au point de vue de la philosophie chimique, on pourrait tirer de là d'intéressantes conclusions sur la théorie de l'unité de la matière. Aussi l'auteur pense-t-il qu'il serait d'un grand intérêt pour la science et pour l'industrie de discuter ces question dans le prochain Congrès international de chimie appliquée.

L. J.

Sur la préparation du baryum, par **A. Guntz**, de Nancy. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 684, 20 août 1903.

L'auteur obtient le baryum a l'état pur en produisant d'abord un amalgame à 3 p. 100 par électrolyse d'une solution de chlorure de baryum avec cathode de mercure, puis en concentrant cet amalgame. Si on distille l'amalgame à 60 p. 100 de baryum dans une atmosphère raréfiée à 900 degrés C., le baryum pur reste dans le creuset. C'est un métal blanc, fondant à 850 degrés C. Il est facilement volatil et absorbe avec facilité l'hydrogène et l'azote. Il se dissout dans $BaCl^2$ en donnant Ba^2Cl^2. Par l'action du sodium sur les composés halogénés du baryum, on obtient des combinaisons cristallisées du type BaX, NaX dans lesquelles O représente I, Br, Cl, H. Ces combinaisons jouent un grand rôle dans l'électrolyse des chlorures de baryum et de sodium.

Discussion. — Sur une question de O. Ruff, de Berlin, l'auteur répond qu'il a remarqué la formation de produits colorés pendant l'électrolyse de $BaCl^2$, mais qu'il croît que ce fait provient d'impuretés.

G. Bodländer demande si dans les combinaisons indiquées, on obtient bien la formule BaCl. L'auteur répond qu'il n'y a en effet aucun excès de baryum et qu'il a trouvé par exemple, pour le composé BaI. NaI, les valeurs suivantes :

	Valeurs théoriques.	Valeurs trouvées.	
		essai 1	essai 2
Ba	33,18	32,60 — 32,72	33,31 — 33,17
I.	61,26	61,28	60,68
Na	5,56	5,71	—

L. J.

Sur les produits électrométallurgiques renfermant du silicium, par **P. Lebeau**, de Paris. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX p. 641, 6 août 1903.

L'auteur décrit différents modes d'obtention des siliciures métalliques. Il a étudié notamment l'action des différents métaux sur le siliciure de cuivre. Certains métaux, comme l'argent, le zinc l'étain, l'aluminium, qui ont de l'affinité pour le cuivre forment avec lui un alliage et le silicium mis en liberté se retrouve cristallisé dans la masse refroidie. D'autres métaux se combinent à l'état de siliciure en empruntant le silicium du siliciure de cuivre.

L'auteur a obtenu les différentes combinaisons suivantes : avec le fer, $SiFe^2$, SiFe, Si^2Fe. Avec le cobalt, $SiCo^2$, SiCo et Si^2Co; avec le manganèse, $SiMn^2$, SiMn, Si^2Mn et enfin avec le chrome, $SiCr^3$, $SiCr^2$, Si^2Cr^3, Si^2Cr.

Sur les actions métalliques spécifiques dans la réduction et l'oxydation électrolytiques, par **A. Coehn**, de Gottingen. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 642, 6 août 1903.

L'auteur montre d'abord que le fait, découvert par Caspari, que l'hydrogène électrolytique se dégage avec des potentiels différents sur les différents métaux, n'est pas une propriété particulière à l'hydrogène, mais que l'oxygène se comporte d'une façon analogue. Pendant qu'avec le platine poli, le dégagement se produit pour 1,67 volt, il survient à 1,48 volt sur l'oxyde de cuivre, à 1,35 volt sur le nickel et à 1,28 volt sur le nickel spongieux.

L'auteur montre ensuite le rôle de ces surtensions dans les réductions et oxydations électrolytiques et principalement pour les corps organiques.

Sur les déterminations des poids moléculaires. par les très hautes températures, par **W. Nernst**, de Gottingen. *Zeitschrift Elektrochemie*, t. IX, p. 622, 6 août 1903.

Communication n'ayant aucun caractère électrique.

Sur le zirconium colloïdal, par **E. Wedeking**, de Tübingen. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 630, 6 août 1903.

Communication n'ayant aucun caractère électrique. L. J.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 10 Octobre 1903. 10e Année. — N° 41

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

PROGRÈS RÉCENTS DANS L'ÉTUDE DU MAGNETISME (1)

II. — Aimantation et temps

74. Trainage magnétique. — Lorsqu'on fait varier le champ magnétique auquel est soumise une tige de fer doux, la variation correspondante de l'aimantation ne s'établit pas instantanément, mais dure quelques secondes ou même quelques minutes : c'est le traînage magnétique, phénomène particulier non ramenable à l'action retardatrice des courants induits ou à l'hystérésis. [*Le magnétisme du fer*, p. 55].

Le traînage est sensible surtout pour les valeurs très faibles du champ, et pour les fers très doux recuits; il est presque insensible pour le fer dur ou l'acier; enfin il se manifeste d'autant moins que la tige étudiée est plus mince.

M. Klemencic (2) a constaté que le traînage se produit encore pour des valeurs assez grandes du champ magnétique, et même que sa valeur absolue croît avec l'intensité du champ, cette croissance étant cependant de plus en plus lente; mais sa valeur relative diminue au contraire quand le champ augmente et devient bientôt très faible. Les tiges étudiées étaient de fer doux récemment recuit et avaient de 4 à 6 mm de diamètre; l'augmentation relative due au traînage était d'environ 9 p. 100 pour $H = 0^{\text{gauss}},2$; 4,5 p. 100 pour $H = 0,6$ et seulement 2 p. 100 pour $H = 1,6$, valeur la plus élevée du champ dans les expériences de M. Klemencic.

On observe encore le traînage lorsqu'on diminue le champ magnétique qui agissait sur

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 3 octobre, t. XXXVII, p. 5.

(2) Klemencic, *Wied. Ann.*, t. LXII, p. 68, 1898. *E. E.*, t. XIV, p. 38 ; 1898. — *Wied. Ann.*, t. LXIII, p. 61, 1898, *E. E.*, t. XVI, p. 161, 1898. *Wiener Berichte*, t. CX, II_a, p. 421, 1901.

Digitized by Google

une tige de fer doux; la diminution de l'aimantation est progressive. M. Fromme [1] a étudié ce qui se produit quand on fait passer le champ d'une valeur H à une valeur *h* qui peut être o, en une seule fois ou par bonds successifs. M. Wilson [2] a fait des observations analogues sur l'anneau de fer presque pur dont il a étudié les propriétés magnétiques [52]; la nature de l'échantillon et ses dimensions (section rectangulaire 2,6 cm $\times$ 1,3 cm) y rendaient le traînage particulièrement intense ; si le champ était amené d'une limite à l'autre directement ou en plusieurs bonds, la variation totale de l'induction n'était pas la même; lorsque le champ passait d'une valeur extrême à l'autre ($H = \pm 9,24$), on n'observait aucun traînage, mais si on faisait passer le champ de la valeur $+9,24$ à la valeur $-1,13$ qui est celle du champ coercitif correspondant, la variation de l'induction durait plus de dix secondes; voici par exemple les variations d'induction mesurées au galvanomètre balistique en fermant le circuit de celui-ci, soit d'une manière constante, soit une seconde, deux secondes, etc., seulement après le renversement du champ :

	1 sec.	2 sec.	3 sec.	4 sec.	5 sec.	6 sec.	10 sec.
13 600	4 030	1 990	927	576	285	175	42

M. Mazotto [3] a fait de nombreuses expériences sur le traînage pour des tiges de fer, d'acier et de nickel de 6 à 8 mm de diamètre, soumises à des traitements mécanique et thermique variés; il constate que toutes les circonstances qui adoucissent un échantillon, c'est-à-dire qui diminuent pour lui l'hystérésis et accroissent la perméabilité, favorisent le traînage; c'est surtout après un bon recuit que le traînage est marqué, et plus longtemps on abandonne la tige de fer à elle-même après le recuit, plus le traînage est faible.

75. D'après les résultats qui précèdent, et d'ailleurs d'après tous les résultats antérieurs, c'est surtout pour les fers doux, présentant peu d'hystérésis, que le traînage magnétique se manifeste. J'en ai cependant observé des exemples intenses dans des circonstances qui paraissent *a priori* très différentes [4] : j'ai indiqué plus haut (63) comment varie l'aimantation d'un dépôt électrolytique de fer obtenu dans un champ magnétique, lorsqu'on le soumet à un cycle du champ magnétique; si le champ magnétique où on l'a obtenu a été assez intense (supérieur à une dizaine de gauss), l'aimantation est très stable, elle persiste presque sans altération jusqu'à ce que le champ magnétique négatif atteigne presque la valeur du champ coercitif; alors l'aimantation se renverse dans un faible intervalle du champ, et passe à la valeur égale de sens inverse. C'est dans cette région que se produisent des traînages énergiques : si on donne brusquement au champ magnétique une valeur voisine du champ coërcitif et qu'on observe un magnétomètre sur lequel agit le dépôt, on voit la déviation du magnétomètre progresser pendant plusieurs minutes, indiquant un traînage qui porte sur une fraction très grande de l'aimantation, jusqu'à plusieurs dixièmes, et qui peut la faire passer d'une valeur positive à une valeur négative. Les mêmes phénomènes se produisent pour les deux parties presque verticales de la courbe cyclique d'aimantation correspondant aux valeurs négative et positive du champ coercitif, qui sont en général de 25 à 30 gauss.

76. Dans ce cas comme dans les précédents le traînage peut s'interpréter par le mouve-

[1] FROMME, *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 41, 1898. *E. E.*, t. XVIII, p. 232; 1898.

[2] WILSON, *Proc. of the roy. Society*, t. LXII, p. 369-376, 1898. *The electrical Review*, p. 313, 1898. *E. E.*, t. XVIII, p. 39, 1899.

[3] MAZOTTO, *Il Nuovo Cimento* (4), t. XI, p. 81-112; 1900. — V. aussi LIZZIE LAIRD, *Drude's Ann.*, t. I, p. 207, 1900.

[4] *Journ. de Physique*, (3), t. X, p. 132; 1901. *E. E.*, t. XXVI, p. 219. 1901.

Digitized by Google

ment de proche en proche des aimants particulaires, à un moment où leur position d'ensemble est peu stable, c'est-à-dire où il ne faut qu'une faible variation de force pour les faire dévier; ces particules agissent les unes sur les autres; lorsqu'une partie d'entre eux, par exemple ceux de la surface, sont écartés de leur position primitive, la variation dans leurs liaisons avec les particules voisines peut suffire pour que celles-ci soient déviées, et ainsi de suite de proche en proche. J'ai mis en évidence ces actions des couches de fer les unes sur les autres au cours d'expériences sur l'action magnétisante d'une couche de fer aimantée sur les couches de fer qu'on y dépose par électrolyse [1].

Dans le dernier exemple, l'action du champ magnétique pendant la formation du dépôt a placé sans doute tous les aimants particulaires d'une manière semblable et particulièrement stable à cause de l'uniformité des actions magnétiques qui s'exercent alors entre eux; de là le peu d'action d'un champ magnétique négatif sur l'aimantation de tels dépôts; lorsqu'on a augmenté suffisamment le champ négatif, il tend à retourner à la fois toutes les particules; il y a un faible intervalle du champ pendant lequel il suffit de peu de chose pour provoquer le retournement des particules; dans cet état, si quelques particules sont déviées, le mouvement se continue avec force de proche en proche.

Il est à remarquer que le traînage pour les faibles champs magnétiques, celui qu'on observe d'ordinaire, n'est notable que dans le cas du fer doux, c'est-à-dire d'une substance magnétique pour laquelle les liaisons des particules sont faibles et peuvent facilement céder de proche en proche; lorsque le champ est assez intense, le mouvement d'ensemble qu'il produit est assez prononcé pour que les traînages qui peuvent se produire soient négligeables vis-à-vis du mouvement principal : ce serait pourquoi le traînage, apparent pour les champs faibles, devient négligeable pour les champs élevés. Pour le fer dur et l'acier, les liaisons des particules sont plus fortes, ce qui est moins favorable à un mouvement de proche en proche; si l'interprétation qui précède est exacte, on devrait pouvoir cependant y observer des traînages quand on amène la substance à un état où peu de chose suffit pour faire varier son aimantation, par exemple dans le cas d'une substance à forte hystérésis soumise à un champ voisin de son champ coercitif.

77. Influence de la vitesse de variation du champ magnétique. — Fréquences de 0 a 1 000. — La question qui a provoqué la plupart des recherches faites à ce sujet est celle de la variation de l'énergie d'hystérésis avec la fréquence; le problème peut être abordé par deux sortes de procédés : 1° ceux où on mesure l'énergie d'hystérésis (méthodes calorimétriques, méthode du wattmètre); 2° ceux où on construit la courbe d'aimantation ou d'induction en fonction du champ; ces derniers procédés donnent l'énergie d'hystérésis par l'aire de la courbe obtenue; ils donnent en même temps des renseignements sur la variation des différentes manifestations des propriétés magnétiques (induction, champ coercitif, etc.), avec la rapidité de la variation.

Les travaux anciens relatifs à ce sujet ont donné des résultats peu concordants (Voir *Le magnétisme du fer*, p. 72) : quelques auteurs ont trouvé l'énergie dissipée dans un cycle rapide plus faible que celle dissipée dans un cycle lent (Warburg et Hönig, méthode calorimétrique, 1883. — Tanakadaté, mesure, par un couple thermoélectrique, de l'élévation de température, 1889. — Weihe, méthode calorimétrique, 1897). D'autres la trouvent au contraire plus grande (Steinmetz, wattmètre, 1892. — Hopkinson, Wilson et Lydall, construction de la courbe par points, 1893). D'autres enfin n'ont pas trouvé de différence sensible

[1] *Journ. de Physique*, (IV), t. I, p. 94; 1902.

Digitized by Google

(Borgmann, méthode calorimétrique, 1882. — Evershed et Vignoles, mesure par un thermomètre de l'élévation de température, 1892. — Gray, wattmètre, 1894).

La grande difficulté est d'éliminer l'influence des courants de Foucault, qui se font sentir non seulement par ce fait que ces courants produisent de la chaleur qui s'ajoute à celle produite par hystérésis, mais aussi par ce fait que ces courants rendent non uniforme la répartition du flux magnétique dans les noyaux étudiés; j'ai fait à ce sujet de nombreuses expériences en construisant par points, par la méthode Joubert-Hopkinson [1], les courbes donnant l'induction magnétique en fonction du champ dont les valeurs limites étaient $\pm 11^{gauss},4$ [2]; les noyaux, en forme de tore, étaient constitués par des fils de fer de plus en plus fins, pour lesquels l'influence des courants de Foucault est de plus en plus faible; l'allure des résultats montre bien que cette influence est négligeable pour les fils les plus fins (0,2 mm de diamètre) dans les limites des fréquences utilisées (de 18 à 56), et j'ai trouvé que l'énergie d'hystérésis (à champ magnétique limite fixe), ainsi bien séparée, est dans ces limites indépendante de la fréquence. La valeur maximum de l'induction, correspondant toujours au même cycle du champ magnétisant, semble aussi peu variable dans ces limites; mais ce maximum présente un certain retard sur le maximum du champ.

M. F. Niethammer [3] a employé aussi la méthode Joubert-Hopkinson, c'est-à-dire qu'il a déterminé au moyen d'un contact tournant l'intensité du courant magnétisant et la force électromotrice aux extrémités de la bobine magnétisante, pour différents points de la période du courant alternatif qu'il utilisait.

De ces deux courbes il déduit le maximum de l'induction magnétique et celui du champ magnétisant, et par suite la perméabilité; quant à l'énergie d'hystérésis, il la détermine au moyen d'un wattmètre. Le noyau était un anneau formé de 400 feuilles de tôle de 1/2 mm d'épaisseur, isolées par des papiers. M. Niethammer trouve la perméabilité magnétique plus faible pour un cycle à parcours rapide que pour un cycle statique [4]; la diminution est un peu plus grande pour $N = 59$ que pour $N = 37$. W_a est au contraire supérieur à W_s (pour une même limite de l'induction magnétique); pour calculer W_a, il représente la puissance trouvée au wattmètre par la formule

$$W = N.\eta.B_{max}^{1,6} + \varepsilon.N^2 B^2_{max},$$

dans laquelle le premier terme représente l'énergie d'hystérésis et le deuxième l'énergie due aux courants de Foucault, qui n'était pas négligeable dans ces expériences. Les courbes de la figure 5 donnent la variation de η avec B_{max} pour un cycle statique ou un cycle alternatif ($N = 59$), on voit que, d'après ces résultats, $\frac{W_a}{W_s}$ serait plus grand que l'unité, mais dépendrait de la valeur de l'induction maximum; d'ailleurs, la formule de Steinmetz ne s'appliquerait pas bien, puisque η n'est pas constant. Enfin W_a dépendrait de la forme du courant magnétisant, et serait d'autant plus grande que la courbe du courant est plus aplatie; μ n'a pas paru au contraire dépendre de cette forme. Il convient de remarquer que les courants de Foucault empêchaient l'uniformité de la répartition de l'induction magnétique dans le noyau, et que cette action, même faible, a pu influer sur les résultats.

[1] V. *Le magnétisme du fer*, p. 14.

[2] *Ann. de Ch. et de Physique*, (7), t. XIV, p. 208. 1898.

[3] F. Niethammer, *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 29. 1898.

[4] Dans ce qui suivra, je désignerai pour simplifier par W_s l'énergie d'hystérésis pour un cycle dit statique, c'est-à-dire parcouru lentement ou par bonds successifs, par W_a l'énergie d'hystérésis (alternative) pour un cycle parcouru rapidement (N désignera la fréquence, c'est-à-dire le nombre de cycles par seconde), enfin par W_r l'énergie d'hystérésis dans un champ tournant (rotative).

Digitized by Google

78. Il ne paraît pas douteux que pour des fréquences élevées des changements se produisent dans les courbes d'aimantation, et ces variations dépendent de la nature des fers carburés étudiés et aussi des limites de l'induction; mais elles sont loin d'être bien connues.

J. et B. Hopkinson (1), puis J. Hopkinson, Wilson et Lydall (2) ont construit par points les courbes d'induction correspondant à $N = 125$ pour des fils de fer et d'acier et les ont comparées aux courbes statiques. Ils trouvent que, pour le fer, les courbes diffèrent peu aux faibles inductions (jusqu'à $B = 3$ ou 4 000); pour des valeurs plus élevées de B, il y a un petit élargissement des courbes parcourues rapidement. Pour les fils d'acier, les différences sont un peu plus fortes : B est plus faible pour une variation rapide que pour la courbe statique, mais la courbe est plus large (H_c est plus grand), et l'aire est un peu supérieure. Ces différences sont plus accentuées entre une courbe correspondant à $N = 125$ et une courbe correspondant à $N = 5$ qu'entre cette dernière et la courbe statique, c'est-à-dire que les différences ne commencent à devenir sensibles que pour des fréquences assez élevées.

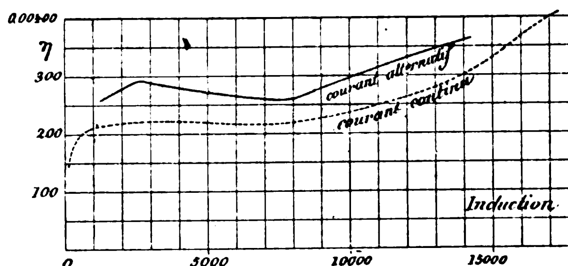


Fig. 5. — Variation du coefficient d'hystérésis, d'après F. Niethammer.

M. Breslauer (3) trouve des différences analogues, mais très faibles, entre la courbe statique et une courbe correspondant à $N = 25$ pour un noyau de lames de tôles ; les aires des deux boucles sont d'ailleurs presque identiques.

M. Klemencic (4) en étudiant l'amortissement des oscillations électriques de $N = 1\,000$ à $N = 2\,000$ trouve que l'énergie d'hystérésis est pour des fils de fer doux beaucoup plus grande que pour l'aimantation statique (par exemple 33 000 ergs par centimètre cube pour $N = 2\,100$ au lieu de 17 à 18 000), tandis que pour des fils d'acier ou de nickel les deux quantités sont très voisines.

M. Wien (5) a étudié l'aimantation de noyaux magnétiques formés de fils très fins pour $N = 128$, 256 et 520, et comparé les résultats à l'aimantation statique. Il serait trop long d'exposer ici son procédé, basé sur la mesure de la résistance et de la self-induction de la bobine contenant le noyau à étudier. Il trouve que la perméabilité magnétique est constamment plus faible pour une variation rapide que pour l'aimantation statique, la différence augmentant avec la fréquence. La différence est la plus grande au maximum de μ, et s'amoindrit de part et d'autre jusqu'à devenir insensible pour les champs intenses ou très faibles. Elle est d'autant plus marquée que le fer est plus doux et que les fils employés sont plus épais. Voici les valeurs maximums de μ correspondant aux différentes fréquences; l'ordre de grandeur de μ indique la douceur ou la dureté de l'échantillon correspondant; à côté de la valeur de μ est indiquée la valeur relative de la différence avec la valeur pour l'aimantation statique :

(1) J. et B. Hopkinson, *The Electrician*, 9 sept. 1892.
(2) J. Hopkinson, Wilson et Lydall, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LIII, p. 352, 1893.
(3) Max Breslauer, *Inaug. Dissertation*, Berlin, 1895.
(4) Klemencic, *Wied. Ann.*, t. LVIII, p. 267, 1896.
(5) Max Wien, *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 859, 1898.

Digitized by Google

N	A		B		C		D		E		F	
0	2 700		1 830		1 800		1 402		716		707	
128	2 360	12,6 p. 100	1 712	6,4	1 740	3,3	1 390	0,9	»	»	»	»
256	2 130	21,1 —	1 640	10,4	1 715	4,9	1 380	1,5	710	0,9	682	3,5
520	1 775	34,3 —	1 530	16,7	1 670	7,3	1 340	4,3	698	2,5	657	7,1

L'énergie d'hystérésis est plus grande, *à induction limite égale*, pour les variations rapides, et d'autant plus que la variation est plus rapide; la différence est la plus grande pour les fils pour lesquels la variation de μ est la plus forte; ainsi, pour les fils A, la valeur de W_a pour $N = 520$ est environ les 170 p. 100 de W_s, tandis que pour les fils E, W_a est sensiblement égal à W_s pour toutes les valeurs de N. Ainsi, pour les fils de fer dur, la variation de l'énergie d'hystérésis avec la fréquence est faible, même pour ces hautes fréquences.

Si on cherche maintenant comment varie W, *à champ magnétisant limite égale*, on trouve des résultats différents; et en effet deux causes inverses de variation agissent alors : la diminution de B pour un même H, et l'élargissement de la boucle d'hystérésis; suivant que l'une ou l'autre l'emporte, W_a est supérieur ou inférieur à W_s. D'une manière générale, voici ce qu'on trouve : la courbe représentant W_a en fonction de H est d'abord audessous de celle qui représente W_s, puis elle la coupe et passe au-dessus; les différences sont d'autant plus grandes et le point d'intersection correspond à un champ d'autant plus grand que N est plus grand et le fil de fer plus doux. Par exemple, pour A la courbe W_a pour $N = 128$ coupe la courbe W_s seulement pour $H = 3{,}5$, la courbe $N = 256$ pour $H = 4{,}4$, et la courbe $N = 520$ reste constamment au-dessous jusqu'à $H = 7$, limite des expériences. Les différences relatives entre W_s et W_a pour $N = 520$ ont, pour cet échantillon, comme plus grande valeur 40 p. 100; elles sont beaucoup plus faibles pour les autres échantillons, de fer plus dur.

M. Wien analyse dans son mémoire le rôle que peuvent avoir les courants induits dans les phénomènes précédents; ces courants induits protègent l'intérieur des fils contre les variations du champ magnétique et causent un retard de l'induction sur le champ, d'autant plus grand que le point considéré est plus éloigné de la surface; il en résulte d'une part l'aplatissement et d'autre part l'élargissement des boucles d'hystérésis. J'ai développé longuement moi-même ce sujet dans le mémoire cité, et étudié, d'abord, à part, cette action des courants induits; les résultats que j'ai obtenus relativement à leur rôle s'accordent pleinement avec ceux de M. Wien; seulement, l'intensité des courants induits augmente très vite avec la fréquence, de sorte que leur action pour des fils d'égale grosseur est beaucoup plus grande dans les expériences de M. Wien, où N a varié de 128 à 520, que dans les miennes, où N a varié de 18 à 56; en faisant des expériences sur des fils plus gros que ceux employés par M. Wien, et de grosseur décroissante, j'ai observé des effets analogues à ceux qu'il a observés lui-même, l'élargissement et l'affaissement des courbes cycliques représentant l'induction en fonction du champ; j'ai pu d'ailleurs me mettre plus facilement à l'abri des courants de Foucault, beaucoup moins intenses aux basses fréquences, en employant des fils fins, et obtenir des résultats relatifs à l'hystérésis seule; la constance de W_a à H constant constatée dans mes expériences pour des fils fins écrouis, s'accorde d'ailleurs bien avec les résultats de M. Wien. Ces deux mémoires publiés à peu près en même temps sur le même sujet, et tout à fait indépendamment, se complètent ainsi l'un l'autre.

Digitized by Google

MM. Honda et Shimizu [1] ont étudié l'aimantation de fils de fer, d'acier et de nickel en employant comme courant magnétisant un courant intermittent de fréquences variées, et en mesurant l'action moyenne sur un magnétomètre; l'interrupteur est basé sur le mouvement oscillatoire d'un fil métallique tendu. Les auteurs admettent que la valeur moyenne de l'aimantation pendant que le courant agit est à peu près égale à la moyenne arithmétique entre l'aimantation maximum et l'aimantation minimum. L'objection la plus grave à leurs expériences est que les fils employés avaient 1,35 mm de diamètre, et que par suite les courants de Foucault devaient y avoir une grande importance pour les fréquences utilisées (de 49 à 300); il est donc difficile de dire quelle part revient dans leurs résultats à l'aimantation elle-même. Ils trouvent que, pour le fer doux et le nickel, pour les champs élevés (au-dessus de $H = 5$ ou 6 gauss), l'intensité d'aimantation I est d'autant plus grande que la fréquence N est plus grande; pour les champs faibles, les valeurs de I sont plus voisines, et les courbes sont dans l'ordre suivant : au-dessus, la courbe $N = 50$, puis la courbe statique, enfin au-dessous les courbes correspondant aux plus hautes fréquences; H_c croît un peu avec la fréquence, et il en est de même de W. Pour l'acier, les résultats sont différents : les courbes de I sont, pour les champs faibles, dans l'ordre des fréquences, la plus basse étant celle qui correspond à la fréquence la plus élevée $N = 300$ et la plus haute la courbe statique; c'est seulement pour les plus grandes valeurs de H employées, 14 gauss, que les courbes correspondant à $N = 50$ et $N = 100$ commencent à passer au-dessus des autres; il en résulte que, bien que H_c croisse avec la fréquence, W croît peu et semble passer par un maximum vers $N = 200$.

M. Dina [2] emploi un noyau constitué par une bobine de fil de fer de 0,235 mm de diamètre et construit par points la courbe B, H; il trouve W_a un peu plus grand que W_s (d'environ 7 p. 100), quelle que soit l'induction maximum; je n'ai eu entre les mains qu'une analyse de son mémoire et ne puis indiquer la fréquence du courant.

MM. Guye et Herzfeld [3] trouvent comme conclusion d'expériences récentes que l'énergie dissipée par hystérésis par cycle est indépendante de la fréquence, même pour des fréquences élevées (de $N = 100$ à $N = 1\,200$); ils mesurent l'énergie mise en jeu au moyen de la variation de résistance provenant de l'échauffement de fils de fer fins (diamètres 0,374 mm — 0,235 mm — 0,155 mm — 0,038 mm); deux fils identiques forment les branches d'un pont de Wheatstone; ils sont placés dans des bobines formées chacune de deux enroulements parallèles, dans lesquels on peut faire passer le courant alternatif dans le même sens ou en sens inverses. On établit d'abord l'équilibre du pont en mettant pour les deux branches les enroulements en sens inverses; les deux fils sont ainsi dans un champ nul, et, la chaleur de Joule du courant étant la même de part et d'autre, le galvanomètre ne dévie pas ou seulement très lentement. Si on renverse alors le sens du courant dans l'un des enroulements d'une des bobines, le fil placé dans cette bobine est soumis à un champ alternatif, et la chaleur due à l'hystérésis (et aux courants de Foucault si ceux-ci ne sont pas négligeables) fait croître sa température d'une quantité qui devient bientôt fixe; dans les conditions des expériences, la déviation du galvanomètre qui en résulte peut être considérée comme proportionnelle à l'énergie transformée en chaleur dans le fil. Pour procéder à des expériences comparatives, on fait varier la fréquence en maintenant constante l'intensité efficace. L'ensemble des résultats montre que les courants de Foucault n'inter-

[1] Honda et Shimizu, *The Physical Review*, t. XIII, p. 81, 1901.

[2] Dina, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 41; 1902. *E. E.*, t. XXXI, p. 369, 1902.

[3] C.-E. Guye et Herzfeld, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, 20 avril 1903.

Digitized by Google

viennent plus sensiblement pour le fil le plus fin, et qu'alors l'énergie mise en jeu par cycle, qui est seulement l'énergie d'hystérésis, est indépendante de la fréquence. Pour les deux fils les plus gros, les courants de Foucault interviennent, et l'énergie totale (courants de Foucault + hystérésis) mise en jeu par cycle décroît à mesure que la fréquence croît; cette variation de l'énergie totale est celle que j'ai observée moi-même, pour des fréquences beaucoup plus faibles, avec des fils assez gros pour que les courants de Foucault interviennent (loc. cit., p. 277).

79. En résumé, il semble que pour les applications pratiques on puisse supposer, dans les limites usuelles de fréquence, l'énergie d'hystérésis par cycle, à champ magnétique limite fixe, indépendante de la fréquence [1]. Quant aux variations des propriétés magnétiques avec la fréquence [2], elles paraissent bien exister pour les fréquences de l'ordre de quelques centaines, et être surtout importantes pour le fer doux et pour les faibles valeurs du champ magnétisant ; elles consistent alors dans une diminution de l'intensité d'aimantation correspondant à un champ magnétique donné et un élargissement des courbes cycliques (augmentation de H_c), c'est-à-dire que l'intensité d'aimantation suit de plus en plus mal, à mesure que la rapidité croit, les variations du champ ; on doit évidemment rapprocher ce fait des phénomènes de traînage magnétique, qui sont surtout apparents dans les mêmes conditions. Nous verrons plus loin ce qu'on sait de l'aimantation par des champs magnétiques variant plus rapidement.

80. Hystérésis dans un champ tournant. — Pour interpréter les résultats relatifs à ce sujet, il faut bien préciser les conditions des expériences. Supposons un noyau magnétique ayant la forme d'un cylindre mince et long, tournant par rapport à un champ uniforme ; le champ magnétisant peut être remplacé par ses deux composantes respectivement parallèle et perpendiculaire au cylindre ; dans la direction de celui-ci, le champ démagnétisant est négligeable, c'est-à-dire que le champ agissant réellement est égal à cette composante parallèle, qui varie, pendant un tour, suivant une fonction sinusoïdale ; dans la direction normale, au contraire le champ démagnétisant est extrêmement intense, et le champ agissant réellement n'est qu'une très faible fraction de la composante. Ainsi, le barreau se comporte sensiblement comme s'il était soumis à un champ constamment parallèle à son axe et variant suivant une fonction sinusoïdale ; l'hystérésis sera donc peu différente de l'hystérésis ordinaire dans un champ alternatif.

Si les dimensions transversales du barreau prennent de l'importance, le champ transversal intérieur devient notable, et l'aimantation résultante varie d'une manière très complexe, dépendant de la forme du noyau. C'est seulement si le noyau magnétique est de révolution autour d'un axe perpendiculaire au champ magnétique que les conditions, et par suite les résultats, deviennent bien définis. Il importe encore de remarquer que dans un tel noyau, quel que soit le système producteur du champ, l'induction n'est presque jamais un-

[1] Il arrive souvent qu'on veut tenir compte, dans un calcul, de la puissance dissipée par hystérésis et par courants de Foucault; on admet alors que la première est proportionnelle à la fréquence (l'énergie par cycle était supposée constante, ici, à induction limite fixe), et la deuxième au carré de la fréquence, et on écrit

$$W = N\eta B^{1,6}_{max} + \varepsilon N^2 B^2_{max} ;$$

il importe de remarquer qu'en appliquant cette formule on admet implicitement que l'induction magnétique a la même valeur dans toute la section du noyau considéré, ce qui n'est jamais vrai quand les courants de Foucault ne sont pas négligeables ; on ne doit donc appliquer cette formule que si les courants de Foucault sont peu importants c'est-à-dire si le noyau est assez divisé ; le deuxième terme est d'ailleurs alors faible par rapport au premier.

[2] Voir sur la théorie de ces déformations : P. Duhem, *Mém. de l'Acad. de Belgique*, t. LXII, 1902.

Digitized by Google

forme (abstraction faite de l'action des courants induits), de sorte que celle qui figure dans les résultats n'est qu'une valeur moyenne.

On peut prévoir en gros quelle doit être la variation de l'hystérésis dans un champ tournant W_r en fonction de l'induction maximum B_m ; quand B_m tend vers o, W_r tend également vers o ; d'ailleurs, quand B_m devient très grand, c'est-à-dire quand le champ magnétique est assez intense pour que le noyau soit à peu près aimanté à saturation, W_r doit tendre encore vers o ; en effet, si les aimants particulaires sont complètement orientés dans la direction du champ, ils suivent le mouvement de celui-ci sans les mouvements brusques correspondant à une rupture d'équilibre, auxquels on attribue l'hystérésis. Donc, quand B_m croît, W_r doit croître d'abord, passer par un maximum et décroître : c'est en effet le sens des résultats obtenus par M. Baily et MM. Beattie et Clinker (*Le Magnétisme du fer*, p. 86), avec un noyau magnétique de révolution ; au contraire avec un noyau de forme allongée ces derniers auteurs trouvent que W_r croît indéfiniment avec l'induction, résultat qui confirme ce que j'ai dit plus haut.

M. Niethammer [1] a étudié W_r dans l'induit d'une petite dynamo à courant continu, mû par un moteur également à courant continu ; il mesurait le travail du moteur avec et sans le champ magnétique des inducteurs de la dynamo ; il trouve que W_r croît d'abord avec B_m, puis décroît à partir d'une valeur de B_m voisine de celle qui correspondrait à la saturation ; jusqu'à $B_m = 14\,000$, W_r oscille entre W_s et le double de W_s pour le même fer ; au delà, W_r devient plus faible que W_s.

M. Dina [2] a effectué des mesures d'hystérésis rotatif, alternatif et statique sur un même noyau (78), mais ses comparaisons présentent relativement peu d'intérêt au point de vue de W_r, parce que le noyau magnétique était de forme allongée ; il mesure W_r par la variation de résistance due à la chaleur produite ; il trouve, conformément à ce qu'on pouvait prévoir d'après la forme du noyau, que W_r augmente constamment avec B_m (de $B_m = 7\,000$ à $B_m = 18\,100$) ; le rapport $\frac{W_r}{W_s}$ va constamment en décroissant, de 1,043 pour $B_m = 7\,050$ à 0,917 pour $B_m = 18\,100$.

M. Beattie [3] a étudié l'hystérésis du nickel et du cobalt dans un champ tournant en employant la disposition appliquée au fer par M. Clinker et lui ; la substance, sous forme de disque mince, est fixée dans une monture en bois suspendue à un fil de torsion perpendiculaire au plan du disque ; de part et d'autre du disque (horizontalement) sont les pôles d'un électro-aimant ; lorsqu'on fait tourner l'électro-aimant d'un mouvement uniforme assez lent, les courants de Foucault sont peu importants, et le couple déviant est dû seulement à l'hystérésis. W_r est proportionnel à l'angle de déviation, et on détermine le coefficient de proportionnalité en mesurant la déviation due à un couple connu. Les disques avaient 4 cm de diamètre et des épaisseurs de 0,525 mm pour le nickel et 0,815 mm pour le cobalt. L'intensité d'aimantation est déduite de mesures au balistique, en tenant compte du facteur démagnétisant des disques, qu'on peut assimiler à des ellipsoïdes très aplatis et considérer par suite comme aimantés uniformément

Les résultats sont exprimés, en fonction de l'intensité d'aimantation, par les courbes de la figure 6 ; la courbe Fe se rapporte à un fer doux étudié antérieurement par MM. Beattie et Clinker ; on retrouve bien pour le nickel et le cobalt une variation ayant l'allure indiquée

(1) F. Niethammer, *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 29 ; 1898. *E. E.*, t. XIX, p. 507 ; 1899. — V. aussi Hiecke et Grau, *Wiener Berichte*, t. CV, nov. 1896, dont je n'ai pas eu le mémoire entre les mains.

(2) Dina, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 41 ; 1902. *E. E.*, t. XXXI, p. 369, 1902.

(3) Beattie, *Phil. Mag.*, (6), t. I, p. 642 ; 1901.

Digitized by Google

plus haut; on peut remarquer que les parties postérieures des courbes sont à peu près rectilignes; prolongées, elles iraient couper l'axe des I en des points qui correspondent en effet à peu près aux valeurs de l'aimantation à saturation du nickel, du cobalt et du fer.

81. Aimantation par des champs magnétiques a haute fréquence. — Nous avons vu plus haut qu'il est déjà difficile de savoir ce qu'est l'aimantation par des champs alternatifs dont la fréquence est de quelques centaines, à cause de l'influence perturbatrice des courants de

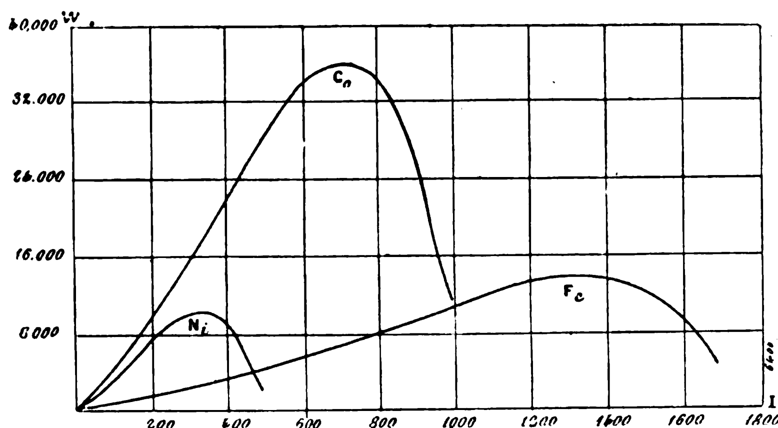


Fig. 6. — Energie d'hystérésis dans un champ tournant pour le fer doux, le nickel et le cobalt (W_2 en ergs par c.c. et par cycle).

Foucault; cette influence devient très intense quand la fréquence est de quelques milliers, et la localisation superficielle due aux courants induits est alors si prononcée, que dans les fils les plus fins le champ n'est pas uniforme dans toute la section droite, de sorte qu'on n'obtient que des actions moyennes portant sur une section droite mal définie, et dont on ne peut tirer aucun résultat quantitatif précis.

Les expériences de M. Varley [1] ont donné cependant des résultats intéressants à cause de l'emploi d'un déceleur sans inertie, les rayons cathodiques, qui suit les variations même très rapides du champ magnétique. Le courant oscillant, produit par la décharge d'un condensateur, passe dans deux bobines placées de part et d'autre d'un tube de Crookes, normalement à un mince faisceau cathodique; les communications peuvent être établies de manière que les deux bobines présentent au tube des pôles de nature inverse ou de même nature. Dans le premier cas, le champ magnétique qui existe entre les deux bobines dévie les rayons cathodiques; le maximum de la déviation correspond au maximum du courant oscillant, dont on mesure la valeur en comparant cette déviation à celle que produit le passage dans les bobines d'un courant continu d'intensité connue. Dans le deuxième cas, les actions des deux bobines sur le faisceau cathodique se compensent; si donc on place dans l'une des bobines un faisceau de fils de fer fins, la déviation des rayons cathodiques est due seulement à l'aimantation de ce faisceau, et on peut mesurer l'aimantation maximum par le maximum de la déviation. Pour que dans les deux cas les conditions soient les mêmes, le circuit comprend une troisième bobine identique aux deux précédentes, et où le faisceau de fils est placé quand il n'est pas dans une de celles-ci. D'ailleurs on peut faire varier la fréquence ou l'intensité en modifiant la capacité du condensateur ou la self-induction du circuit (bobines supplémentaires).

---

(1) Mansergh Varley, *Phil. Mag.*, (VI), t. III, p. 500; 1902. *E. E.*, t. XXXII, p. 437; 1902.

Digitized by Google

M. Varley a opéré, avec des fréquences de 3 700 à 130 000, sur des faisceaux de fils de même provenance ayant des diamètres de 1 mm — 0,71 mm — 0,525 mm — 0,221 mm, en nombre tel que les quatre faisceaux eussent à peu près la même section droite totale; les déviations qu'il obtient avec les quatre faisceaux pour un même courant ne sont pas les mêmes, ce qui provient de la répartition non uniforme de l'aimantation; pour la fréquence la plus faible, 3 730, on a comme déviations respectives 28 — 33 — 37 — 40 et, pour la plus grande fréquence, 130 000, on a comme déviations 7 — 10,5 — 16 — 23; le rôle plus actif des parties superficielles des fils est mis en évidence par ce fait que les déviations sont les plus grandes pour les faisceaux des fils les plus fins, où les parties superficielles ont une importance relative plus grande, et cet effet est d'autant plus accentué que la fréquence est plus grande.

Les résultats sont résumés par les courbes des figures 7 et 8; la figure 7 représente la

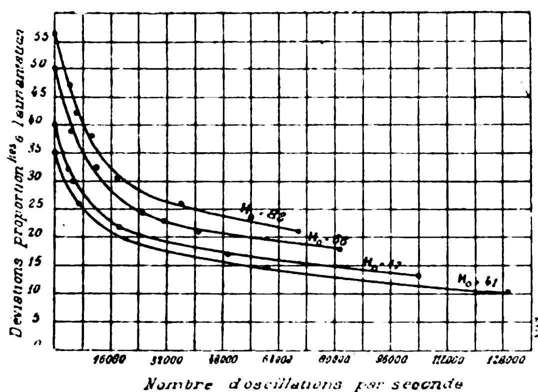


Fig. 7. — Variation de l'aimantation avec la fréquence (fils de 0,71 mm).

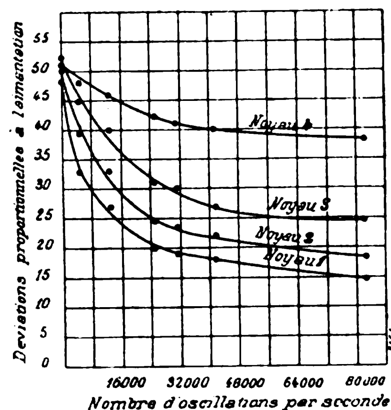


Fig. 8. — Variation de l'aimantation avec la fréquence (H = 66 gauss).

décroissance de l'aimantation quand la fréquence croît, pour le noyau de fils de 0,71 mm et pour différentes valeurs du champ; la figure 8 montre la décroissance de l'aimantation pour les quatre noyaux (1 correspond au plus fort diamètre) et pour le même champ H = 66 gauss. En résumé, la déviation est d'autant plus faible que le fil est plus gros et la fréquence plus grande; mais la localisation superficielle qui s'accentue à mesure que la fréquence croît agit justement dans ce sens, et il est impossible de séparer ce qui tient à la variation de l'aimantation elle-même. On peut même dire que les résultats de M. Varley montrent que l'intensité d'aimantation ne diminue pas très rapidement quand la fréquence croît jusqu'à 130 000.

D'une de ses expériences relative à la fréquence 10 000, M. Varley déduit la valeur (moyenne ?) de μ et trouve $\mu = 110$; le calcul est très incertain puisque μ intervient dans la façon dont varie le champ magnétique à partir de la surface des fils, de sorte qu'une certaine valeur de l'aimantation totale pourrait provenir soit d'une valeur relativement faible de μ, avec un affaiblissement lent à partir de la surface, soit d'une valeur plus grande de μ, qui produirait alors un affaiblissement plus rapide.

82. Des expériences récentes de M. Braun [1] montrent bien la nécessité d'employer des substances en fragments très minces, si on veut étudier l'aimantation par des oscillations

[1] Braun, *Drude's Ann. der physik.*, t. X, p. 326-334; 1903. *E. E.*, t. XXXV, p. 63, 1903.

Digitized by Google

très rapides. Il produit des oscillations de $N = 5.10^6$ (décharge d'une bouteille de Leyde) à travers une bobine de quelques spires autour de laquelle est une bobine secondaire dont les extrémités communiquent à un thermomètre de Riess ou à un micromètre à étincelles. Si on place à l'intérieur des bobines un tube de verre rempli de fer porphyrisé ou de fer réduit (provenant de la réduction de l'oxyde par l'hydrogène), l'indication du thermomètre de Riess est augmentée de moitié, ou bien la distance explosive croît de 9 mm à 12 mm ; avec la limaille de fer, beaucoup plus grosse, on n'obtient aucun changement ; l'action protectrice des courants de Foucault s'exerce d'une manière intense dans chaque grain.

Avec les poudres fines, les courants de Foucault sont relativement peu intenses dans chaque grain, et ne s'établissent que très peu dans la masse ; on rend leur formation dans la masse encore plus difficile en noyant la poudre dans un diélectrique ; dans ces conditions l'action des oscillations s'exerce jusqu'au centre de la masse, même si elle a plusieurs centimètres d'épaisseur. M. Braun le montre en utilisant l'action désaimantante des champs magnétiques oscillants, connue depuis les expériences de Rutherford (1897) et dont nous allons parler tout à l'heure : quand un cylindre de poudre est aimanté par un champ intense (produit par une bobine parcourue par un courant continu), la limaille conserve une aimantation permanente qui se manifeste par des amas de poudre en houppes peu sensibles aux actions mécaniques ; si on place alors cette limaille dans une bobine parcourue par une décharge oscillante, les houppes se détruisent, montrant la disparition de l'aimantation permanente. Or cette destruction s'opère encore si on entoure ce cylindre d'un cylindre creux rempli lui-même de poudre humectée d'huile.

83. Action des champs magnétiques oscillants sur l'aimantation déja acquise. — Cette action a été signalée par lord Rayleigh et étudiée surtout par M. Rutherford [1] qui en a tiré dès 1896 le principe d'un détecteur à distance des oscillations électriques. Il place une fine aiguille aimantée à saturation dans une bobine parcourue par une décharge oscillante ; au moment où la décharge se produit, l'aimantation de l'aiguille diminue, ce qui est décelé par un magnétomètre voisin. Cette action permet de comparer les intensités de décharges oscillantes ; elle peut encore servir à étudier la distribution de l'intensité des oscillations le long d'un fil conducteur ; enfin, si la bobine qui entoure l'aiguille aimantée fait partie d'un appareil récepteur d'ondes électromagnétiques (par exemple est en communication avec une antenne et le sol), la désaimantation décèle les ondes, et M. Rutherford a pu utiliser un tel récepteur jusqu'à une distance de 1 km environ ; il employait alors un faisceau de fines aiguilles réunies par de la paraffine. D'ailleurs l'effet est différent suivant que la première demi-oscillation a lieu dans le sens de l'aimantation de l'aiguille ou en sens inverse : la désaimantation est plus grande dans le deuxième cas, et le rapport de deux actions permet d'étudier l'amortissement des oscillations.

Ainsi cette action désaimantante est susceptible de multiples applications ; M. Erskine [2] l'a utilisée pour étudier la protection contre les oscillations produites par de minces couches métalliques (feuilles d'étain) ; il compare pour cela l'action désaimantante obtenue avec des bobines de nombres de spires différents parcourues par des courants oscillants identiques, à celle obtenue en utilisant la bobine dont le nombre de spires est le plus grand, mais avec interposition de feuilles d'étain. Il trouve que la protection augmente quand la capacité du condensateur diminue, et, en effet, la fréquence $N = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ augmente alors, ce qui explique l'augmentation de la protection.

(1) Rutherford, *Phil. Trans.*, t. CLXXXIX, p. 1-24, 1897.

(2) Erskine, *Wied. Ann.*, t. LXII, p. 145, 1898. *E. E.*, t. XIV, p. 40, 1898.

Digitized by Google

M. Marconi (¹) remplace le magnétomètre par un téléphone relié à une bobine secondaire ; de plus, pour n'avoir pas à réaimanter constamment le noyau magnétique, il le place dans un champ magnétique variable (aimant ou électro-aimant ou fer à cheval, tournant) ; au moment où les ondes agissent, le téléphone donne un son, corrélatif d'une variation brusque de l'intensité d'aimantation ; ce dispositif est beaucoup plus sensible que celui de M. Rutherford ; il a permis la transmission par ondes hertziennes à une distance de 1 500 km.

M. Marconi pensait que le phénomène consiste en une diminution brusque du retard dans le temps de l'aimantation sur le champ, c'est-à-dire la suppression du traînage magnétique. Les expériences de M. Tissot (²) semblent montrer que c'est en réalité l'hystérésis ordinaire par rapport au champ qui est réduite par l'action du champ oscillant ; M. Tissot trouve en effet le phénomène indépendant de la vitesse de variation du champ magnétique (vitesse qui est toujours restée faible dans ses expériences), et marqué surtout pour les substances qui ont beaucoup d'hystérésis. Le champ magnétique est produit par un aimant en fer à cheval ou un électro-aimant tournant à une vitesse de 6 à 600 tours par minute. Le noyau magnétique soumis à ce champ est placé dans une bobine de fil bien isolé et reliée d'une part à l'antenne réceptrice des ondes et d'autre part à la terre ; une bobine secondaire est reliée à un téléphone. Le noyau est formé par un faisceau d'aiguilles d'acier très minces, ou mieux de lames d'acier très minces (ressorts d'horlogerie les plus délicats), et il a soit une forme rectiligne (hystérésis alternative) soit une forme en anneau (hystérésis de rotation) ; les deux dispositifs se prêtent également bien à l'observation.

Il importe de remarquer que, pour que l'action du champ magnétique oscillant soit intense, il faut que ce champ pénètre dans toute la section du noyau : on doit donc employer les tiges ou lames les plus minces possible ; il est probable que le champ oscillant agit en facilitant le mouvement des particules magnétiques, dont il provoque la trépidation, et que cette action doit être rapprochée de celles qui permettent d'obtenir les courbes d'aimantation normale par diminution ou suppression de l'hystérésis (68).

III. — Variation des propriétés magnétiques avec la température

84. Propriétés générales. Hystérésis. — Les variations de la température influent de deux façons sur les propriétés magnétiques : d'une part, pour un état allotropique du métal ou pour un constituant donné des fers carburés, les propriétés magnétiques varient avec la température ; d'autre part les variations de température produisent des transformations allotropiques et des changements dans la nature des constituants, et par suite des modifications profondes des propriétés magnétiques de l'ensemble. Nous avons vu ce que paraissent être ces transformations pour les fers carburés ; la présence d'autres corps peut modifier beaucoup les transformations ; de là les propriétés si curieuses des aciers au nickel, des ferromanganèses et des autres alliages magnétiques, en fonction de la température ; ces propriétés sont trop complexes pour que je puisse les exposer dans cet article ; d'ailleurs, c'est seulement pour les aciers au nickel qu'on possède des renseignements d'ensemble, qu'on trouvera dans les publications déjà citées de M. Guillaume. Je m'occuperai donc seulement ici des fers carburés ordinaires.

(¹) Marconi, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LXX, p. 341, 1902.

(²) C. Tissot, *Soc. Française de Physique*, 20 février 1903 ; *Bulletin*, 1903, p. 29, ou *Journ. de Physique* (IV), t. II, 342, 1903.

Digitized by Google

Rappelons brièvement les résultats antérieurs. Une courbe d'aimantation (I, H) comprend trois parties : une partie de croissance lente, une de croissance très rapide, enfin une troisième partie où la croissance est de nouveau très lente, la saturation étant presque atteinte ; si on construit pour un même échantillon les courbes d'aimantation à différentes températures, on trouve que la partie de variation rapide correspond à un champ d'autant plus faible que la température est plus élevée, mais la troisième partie est d'autant plus basse que la température est plus élevée. Il en résulte que la perméabilité magnétique μ atteint son maximum pour un champ magnétique d'autant plus faible que la température est plus élevée ; ce maximum s'élève avec la température jusqu'à une température voisine

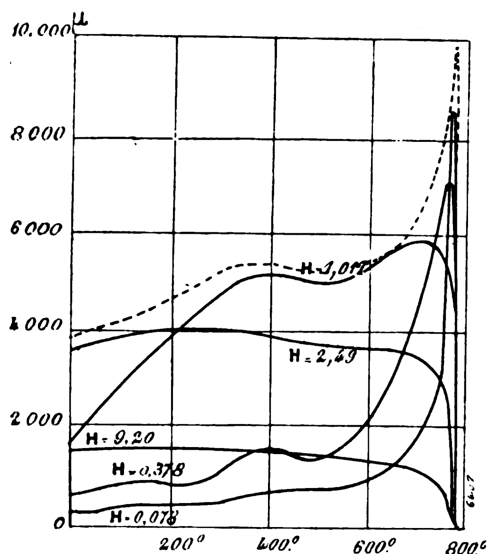


Fig. 9. — Variation de μ avec la température (tôle recuite à 840°).

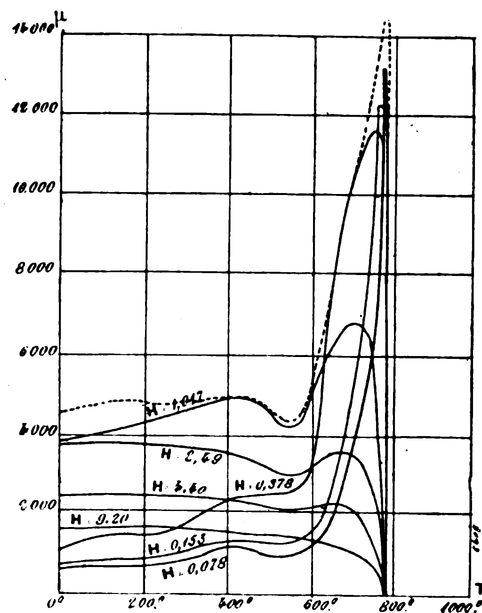


Fig. 10. — Variation de μ avec la température (tôle recuite à 1 150°).

du point de transformation, par exemple jusqu'à 740 ou 750° ; au delà il baisse très rapidement. Ainsi, aux températures élevées, le maximum de μ peut être beaucoup plus grand qu'à la température ordinaire ; il atteint pour le fer doux 15 000 ou 18 000 ou même davantage (J. Hopkinson).

Ces résultats ont été précisés par des recherches récentes, surtout par celles de M. Morris et de M. Wills (¹).

M. Morris a étudié au galvanomètre balistique deux échantillons de tôles minces pour transformateurs formant des noyaux annulaires ; toutes précautions étaient prises pour éviter l'oxydation : les noyaux sont entourés d'enveloppes réfractaires limitant une cavité sans communication avec l'atmosphère ; avec le noyau à étudier se trouve à l'intérieur un fil de fer qu'on peut porter au rouge en y faisant passer un courant électrique ; il s'oxyde en absorbant l'oxygène de la cavité. Le chauffage est réalisé par un courant électrique passant dans une bobine de fil de platine, et la température mesurée par la résistance d'un fil de platine. Pour chaque noyau ont été faites des expériences à température décroissante,

(¹) Morris, *Phil. Mag.*, (5), t. XLIV, p. 213-54 ; 1897. — Wills, *Phil. Mag.* (5), t. L, p. 1-37, 1900 et (6), t. V, p. 117-134, 1903 (*Variation de l'hytercésis*). — V. aussi : Pitcher, *Phil. Mag.*, (5), t. XLVII, p. 421 ; 1899.

Digitized by Google

après chauffe à 840 ou 1 150°; la perméabilité magnétique est plus grande après le recuit à 1 150°.

Les figures 9 et 10 représentent les variations de μ en fonction de la température, pour différentes valeurs du champ magnétique ; elles correspondent au même noyau, après recuit à 840° (fig. 9) ou à 1 150° (fig. 10) ; on a figuré en pointillé les courbes donnant la variation du maximum de μ. On peut vérifier sur ces courbes les résultats généraux indiqués plus haut; on y remarque cependant un affaissement de la perméabilité au voisinage de 550°, marqué surtout après recuit à 1 150°; déjà cette température avait été signalée par une altération de certaines propriétés physiques [1] ; peut-être est-ce la manifestation d'une transformation allotropique (v. 2), qu'il resterait à préciser.

M. Morris a aussi construit des cycles d'aimantation à différentes températures ; considérons d'abord les cycles décrits entre des valeurs symétriques fixes de l'induction magnétique : l'aire de la courbe (énergie d'hystérésis) décroît quand la température croît ; les courbes de la figure 11 représentent cette variation pour le même échantillon après recuit à 840° et à 1 150°; cette variation avait été trouvée plus régulière par Kunz [2]. L'intensité d'aimantation rémanente et surtout le champ coercitif diminuent beaucoup quand la température croît ; à 760°, H_c est inférieur à 1/10 de gauss.

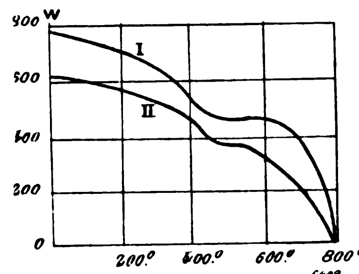


Fig. 11. — Energie d'hystérésis par cycle à B_m constant $= \pm 4550$ (I, après recuit à 840°, II, à 1 150°).

M. Morris a aussi tracé des cycles entre des valeurs symétriques fixes du champ magnétisant, $H_m = \pm 6{,}83$; il importe de remarquer que le résultat obtenu doit dépendre alors de la valeur de H_m, d'après la façon dont varie μ, ou, ce qui revient au même, B, pour un H donné. La valeur 6,83 de H est une valeur assez élevée, pour laquelle B décroît à mesure que la température croît (fig. 9 et 10) ; comme I_r et H_c décroissent, il en résulte que W doit décroître quand la température croît ; c'est bien ce que l'auteur a trouvé ; nous verrons plus loin que M. Wills a trouvé une variation différente, dans les mêmes conditions, mais pour des valeurs plus faibles de H_m.

M. Wills a déterminé les courbes d'aimantation à température constante pour un anneau de fer doux. Voici les valeurs du champ magnétique H_m pour lequel μ est maximum, et la valeur de ce maximum, pour différentes températures.

	15°	260°	367°	482°	592°	735°
H_m	2,15	1,72	1,505	1,07	0,69	0,215
μ_{max}	3 280	3 931	5 080	5 750	8 200	16 000

On obtient des résultats assez différents en étudiant l'aimantation à champ constant et à température croissante ; la figure 12 résume ces résultats : les températures sont portées en abscisses ; la courbe en trait plein représente la variation du maximum de μ (ordonnées à gauche) et la courbe en trait discontinu, les valeurs correspondantes de H (ordonnées à

[1] Tomlinson, *Phil. Mag.*, (5), t. XXVI, p. 21, 1888.

[2] Kunz, *Elektrotechnische Zeitschrift*, 5 avril 1894. *Lum. El.*, t. LII, p. 485, 1894.

Digitized by Google

droite) ; par exemple, pour H = 1 gauss ou RQ, μ est maximum pour la température OQ et la valeur du maximum est PQ.

On retrouve dans ces résultats l'allure générale indiquée, c'est-à-dire des valeurs très grandes de μ pour les champs faibles lorsque la température est peu inférieure à la température de transformation ; mais la variation est plus régulière que celle trouvée par M. Morris, et les températures voisines de 550° ne se distinguent pas des autres. M. Wills a étudié de même plusieurs alliages magnétiques (à 4,5 p. 100 de tungstène — 2,60 d'aluminium — 5 de nickel — 9 de chrome, 3 de manganèse et 1 de carbone) pour lesquels il a obtenu des résultats analogues.

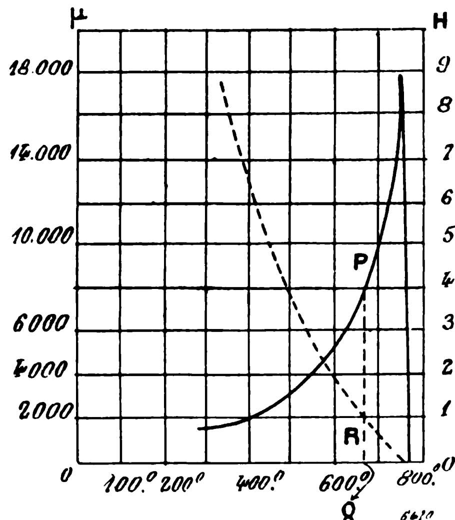


Fig. 12. — Variation du maximum de μ avec la température (fer doux).

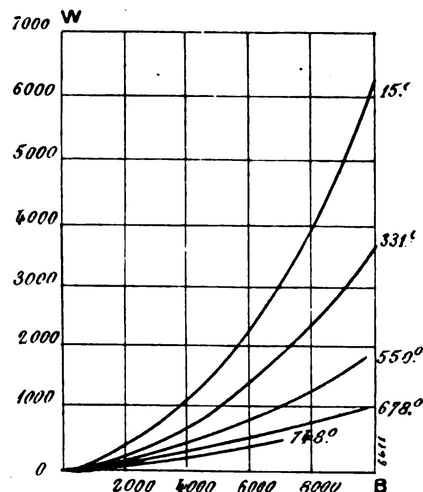


Fig. 13. — Variation de l'énergie d'hystérésis avec l'induction maximum, pour différentes températures.

Dans son second mémoire, M. Wills a étudié la variation de l'hystérésis avec la température. Il emploie pour mesurer l'énergie d'hystérésis la méthode de M. Searle, dont la théorie complète a été donnée par MM. Searle et Bedford (1), et dont le principe est le suivant : la bobine fixe d'un électrodynamomètre est mise en série avec le circuit magnétisant, et la bobine mobile est en série avec une bobine secondaire enroulée sur le noyau magnétique. On fait passer dans le circuit magnétisant un courant d'intensité connue ; en renversant lentement ce courant, on obtient à l'électrodynamomètre une déviation qu'un calcul assez complexe relie à l'énergie d'hystérésis. Il y a une correction assez importante relative aux courants induits. L'induction correspondante se détermine facilement.

M. Wills s'est préoccupé d'atténuer la cause d'erreur provenant de ce que l'hystérésis d'un fer doux recuit varie avec le temps lorsqu'il est chauffé (v. plus loin, p. 86) ; il utilise ce fait que les fers pour lesquels cette variation est importante sont surtout les fers les plus doux ; pour les fers assez durs, présentant beaucoup d'hystérésis, la variation est généralement faible. Il a donc choisi un fer de qualité inférieure, refroidi au préalable rapidement après avoir été chauffé à 800° ; il procède ensuite par élévation de température, jusqu'à la température de transformation ; il obtient ainsi, pour chaque température, l'énergie par

(1) Searle, *Proc. Camb. Soc.*, t. IX, p. 2-6, 1895. *E. E.*, t. VII, p. 324, 1896. — Searle et Bedford, *Phil. Trans.*, A. t. CLXLVIII, p. 40-52, 1902.

Digitized by Google

cycle W en fonction de l'induction maximum B_m : les courbes représentatives sont des courbes montantes, légèrement concaves vers le haut, et échelonnées suivant l'ordre des températures, la plus basse correspondant à la température la plus élevée (fig. 13 et 14). On peut déduire de là la variation de W à B_m constant, en fonction de la température ; la figure 14 reproduit les courbes ainsi obtenues pour $B_m = 600$ et 4 000 ; ces courbes sont presque des droites et ressemblent plus à celles obtenues par M. Kunz qu'à celles obtenues par M. Morris ; il est à remarquer qu'au voisinage du point de transformation elles sont légèrement concaves vers le haut, alors que les courbes de M. Morris donnent au contraire une variation plus rapide en cette région.

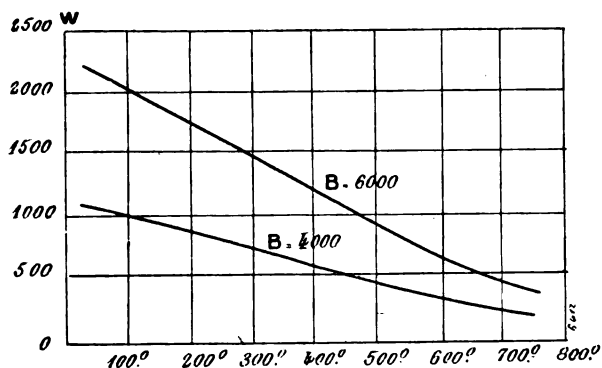


Fig. 14. — Variation de l'énergie d'hystérésis avec la température, pour différentes valeurs de l'induction maximum.

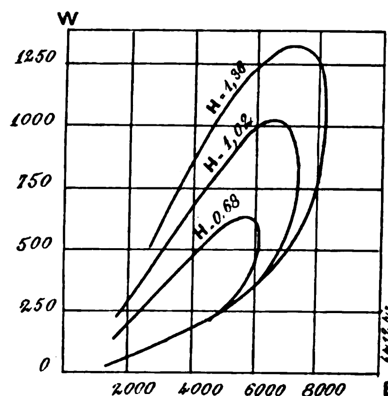


Fig. 15. — Variation de l'énergie d'hystérésis avec la température, pour des cycles correspondant à des limites fixes et faibles du champ magnétique.

M. Wills a étudié aussi la variation de l'hystérésis pour des cycles effectués entre des valeurs fixes du champ, $\pm H_m$; les résultats qu'il donne se rapportent à des valeurs faibles du champ, pour lesquelles B croît d'abord quand la température croît, passe par un maximum pour une température élevée, puis décroît ; aussi trouve-t-il que, pour un H_m donné, W croît d'abord avec la température, passe par un maximum et décroît ensuite ; il représente ces résultats en portant W en ordonnées, et B en abscisses, et en réunissant par une courbe les points qui correspondent à une même valeur de H_m ; ce sont les courbes en boucle de la figure 15 ; pour chaque valeur du champ il y a ainsi une valeur de la température pour laquelle W est maximum ; voici ces valeurs :

H_m	0,34	0,68	1,02	1,36	1,70	1,90
Temp. où W est max.	705°	610°	565°	480°	355°	290°

ces températures sont à peu près les mêmes que celles qui donnent le maximum de μ pour le même champ.

Ainsi les résultats de M. Wills s'accordent bien comme allure générale avec ceux de M. Morris ; il faut remarquer d'ailleurs que ces physiciens opéraient dans des conditions très différentes : M. Morris étudiait un bon fer doux, après recuit à haute température, et faisait ses expériences pendant le refroidissement ; M. Wills étudiait un fer de qualité inférieure et qui, après avoir été porté à haute température, avait été refroidi brusquement ; il

Digitized by Google

faisait alors ses expériences à température croissante. Il n'est donc pas étonnant que leurs résultats présentent quelques divergences ; on peut estimer au contraire que leurs résultats, joints à ceux de J. Hopkinson, font bien connaître la variation d'ensemble des propriétés magnétiques avec la température. Il reste à préciser cette variation pour des fers carburés de nature bien définie.

85. Il est à remarquer que l'effet d'une haute température sur les premières parties de la courbe d'aimantation est assez analogue à celui des trépidations ou des autres procédés qui atténuent l'hystérésis (68) ; l'induction magnétique est augmentée et l'énergie d'hystérésis diminuée ; cependant les courbes d'aimantation à haute température diffèrent des courbes normales d'aimantation définies par les procédés que je viens de rappeler, car elles semblent conserver le point d'inflexion qui n'existe plus dans les courbes normales ; tout ce qu'on peut dire, c'est qu'à haute température les mouvements des aimants particulaires sont beaucoup facilités : ces particules cèdent plus facilement à l'action du champ. Il serait intéressant d'étudier l'effet des trépidations à haute température.

86. Action d'une chauffe prolongée a température peu élevée (*Vieillissement des tôles*). — Ce phénomène est d'une grande importance pratique ; on le connaît encore mal. Voici comment on a été amené à l'étudier : on a remarqué que pour obtenir d'un transformateur en service depuis quelques temps la même énergie secondaire, il fallait lui fournir une énergie plus grande qu'au début (*vieillissement*). Des expériences de laboratoire ont montré que la cause de cette modification est une augmentation de l'hystérésis qui se produit quand les tôles, ou du moins certaines tôles, sont chauffées longtemps à la température qu'établit dans la masse le transformateur en marche. Mais les résultats obtenus sont loin d'être concordants, et il semble que le phénomène diffère beaucoup avec la nature des fers. Ainsi, M. Charpy [1] a constaté que des chauffes identiques vieillissent les tôles d'aciers Bessemer tandis qu'elles ne vieillissent pas certaines tôles Martin ; les tôles au silicium et à l'aluminium dont les excellentes propriétés magnétiques ont été indiquées plus haut (73) ne paraissent pas vieillir. Pour les fers carburés, on a remarqué que les échantillons où l'hystérésis augmente par ces chauffes sont en général des échantillons ayant d'abord une hystérésis très faible.

M. Roget [2] a étudié le vieillissement d'un faisceau de tiges de fer doux recuit de 1,6 cm de diamètre, ayant au début une hystérésis très faible. Il emploie l'hystérésimètre d'Ewing. Une chauffe prolongée au-dessous de 40° ne modifie pas sensiblement l'hystérésis ; entre 40° et 135°, l'hystérésis croît avec la durée de la chauffe, dans les limites de durée des expériences (de 15 à 25 heures) ; au-dessus de 135°, l'hystérésis croît d'abord avec la durée de la chauffe, présente un maximum (après quelques heures) puis décroît ; l'augmentation va jusqu'à 150 ou 200 p. 100 de la valeur primitive.

M. Mazotto [3] s'est proposé de chercher la variation de la courbe d'hystérésis, et par suite des différents éléments, μ, I_r, H_c, W. Il a employé la méthode du magnétomètre et étudié plusieurs espèces de fers et d'aciers recuits. Les tiges sont chauffées à une certaine température et refroidies de temps en temps pour être étudiées au magnétomètre. Elles ont été chauffées 500 heures à 100°, puis recuites à haute température et refroidies lentement, ce qui les ramène à peu près à leur état primitif ; ensuite, chauffées 500 heures à 180°, recuites, enfin chauffées 200 heures à 360°.

(1) G. Charpy, *Soc. Internationale des Electriciens*, 3 déc. 1902. — *E. E.*, t. XXXIII, p. 387, 13 déc. 1902.

(2) Roget, *Proc. Roy. Soc. London*, 12 mai 1898. — *The Electrician*, t. LXI, p. 182, 1898. — *E. E.*, t. XVII, p. 110, 1898.

(3) Mazotto, *Il Nuovo Cimento*, t. CXI, p. 417, 1902. *E. E.*, t. XXXIII, p. XII, 1902.

Digitized by Google

L'auteur trouve ainsi que les propriétés magnétiques se modifient lentement pendant la chauffe et tendent vers une limite qui dépend de la température de chauffe ; ces modifications sont une diminution de μ, une augmentation de I_r, de H_c et de la valeur de H pour laquelle μ est maximum ; elles sont d'autant plus rapides et plus accentuées que la température de chauffe est plus élevée.

Le rapport entre la valeur de μ pour des champs égaux pour un échantillon ayant subi le chauffage et pour le même échantillon à l'état initial recuit est très accentué pour les champs faibles, décroît, à peu près à partir de la valeur de H pour laquelle μ est maximum, et tend vers 1 pour des champs plus intenses (diffère peu de 1 à partir de $H = 40$ environ).

Au contraire, le rapport suivant lequel I_r augmente est sensiblement indépendant de H.

Toutes ces variations sont d'autant plus marquées que le fer a moins d'hystérésis dans les conditions initiales, c'est-à-dire que I_r et H_c sont plus faibles. Un premier stationnement à une certaine température n'altère pas l'état qui s'établit si on chauffe alors à une température plus élevée.

Dans les transformateurs, le champ moyen est assez élevé ; c'est donc surtout l'augmentation de H_c qui doit produire l'accroissement de l'énergie d'hystérésis.

M. Wills (*loc. cit.*) a mesuré W à B limite constant pendant une chauffe prolongée, pour un fer recuit ; il trouve une augmentation de plus en plus faible de W ; par exemple, pour $B = 5000$ et $t = 165°$, il trouve au début $W = 1350$ ergs, puis, après respectivement 1, 2, 3 et 4 jours de chauffe, 2050, 2300, 2450, 2500 ; W reste ensuite à peu près constant ou plutôt décroît légèrement.

Tous ces résultats s'accordent assez mal : en particulier, la décroissance notable consécutive au maximum, qu'avait constatée M. Roget, et qui permettait d'espérer un retour à à une faible hystérésis après un très long service des tôles, n'a pas été confirmée. Quant aux causes de ces altérations, elles restent obscures ; nous avons vu que lorsqu'on chauffe ainsi des aciers trempés, lesquels ne sont pas dans un état stable à la température ordinaire, il se produit une modification incomplète les rapprochant de l'état stable ; ici, il s'agit au contraire de corps recuits, c'est-à-dire qu'on peut supposer à la température ordinaire à peu près à leur état stable ; les modifications causées par une chauffe vers 100° ou 200° montrent qu'à ces températures se produisent encore des transformations actives, sinon dans la nature des constituants, tout au moins dans leur structure.

87. Action des basses températures. — L'action des basses températures est surtout intéressante pour les substances, telles que les aciers au nickel ou au manganèse, qui peuvent être à la température ordinaire à un état non magnétique, mais dans lesquelles un abaissement de température peut produire le passage à un état magnétique qui se maintient ensuite pendant un long intervalle de la température, quand celle-ci remonte. Nous nous occuperons seulement ici de cette action sur les fers carburés ordinaires ; les résultats, ici encore, sont assez divergents [1].

MM. Fleming et Dewar trouvent que la variation est faible ; la courbe d'aimantation du fer doux subit dans l'air liquide une faible diminution (le maximum de μ passe de 2110 à 1830) ; l'énergie d'hystérésis ne varie pas sensiblement.

M. Claude a construit la courbe cyclique d'aimantation pour un barreau de fer forgé, à

---

(1) J. Fleming et J. Dewar, *Proc. Roy. Soc. London*, t. LX, p. 85, 1896. *The Electrician*, t. XLI, p. 319 et 388; 1898. — Claude, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXXIX, p. 409, 21 août 1899. *E. E.*, t. XX, p. 388, 1899. — Thiessen, *The Physical Review*, t. VIII, p. 65 ; 1899. — A. Ford, *Electrical World*, t. XXXIV, p. 195, 1899. *E. E.*, t. XX, p. 395, 1899. — Trowbridge, *Electrical World*, t. XL, p. 325, 1902.

Digitized by Google

différentes températures échelonnées entre + 25° et — 185°; toutes ces courbes se superposent presque exactement, tout au moins quand le champ maximum est assez grand (35 environ); pour les champs plus faibles, la perméabilité diminue un peu avec la température.

M. Ford trouve cependant que pour des tôles contenant seulement 0,1 p. 100 de carbone l'énergie d'hystérésis (mesurée par l'hystérésimètre d'Ewing) éprouve une augmentation d'environ $\frac{3}{10}$ à la température de l'air liquide, dont la moitié environ subsiste après retour à la température ordinaire.

D'après M. Trowbridge, la perméabilité d'un fer doux est moindre à la température de l'air liquide qu'à la température ordinaire, celle du fer forgé étant au contraire plus grande; l'énergie d'hystérésis est à peu près la même; enfin l'aimantation permanente de l'acier est à peu près indépendante de la température à laquelle l'aimantation a été produite, mais si on fait varier dans un sens ou dans l'autre la température de l'aimant permanent obtenu, son aimantation diminue.

En résumé, l'action des basses températures ne paraît pas produire sur les propriétés magnétiques des fers carburés ordinaires de modifications notables, au moins quand ces températures ne sont pas maintenues trop longtemps.

Ch. Maurain.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRANSMISSION

Sur la compensation des variations de charge dans les installations de transport d'énergie. Communication faite par **G. Meyerberg**, à la séance du 28 janvier 1903 de l'Elektrotechnischer Verein. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 216, 2 avril 1903.

Le procédé actuellement le plus employé pour compenser les variations de charge dans les installations de transport de force est la *batterie tampon*, qui tend de plus en plus à trouver sa place dans chaque centrale de tramways. En dehors des installations de tramways, on a aussi à parer aux à-coups dans les centrales, commandant des *laminoirs électriques* ou moteurs d'*extraction* pour les puits de mines.

Dans ce dernier cas, en particulier, les quantités d'énergie mises en jeu sont considérables et conduisent à d'énormes dépenses de première acquisition et d'entretien, pour les batteries d'accumulateurs. L'auteur, reprenant une idée déjà émise par Kapp, a cherché à utiliser dans ce but d'égalisation des charges la force vive des volants.

La force vive emmagasinée dans un volant a pour valeur :

$$L = \frac{Mv^2}{2},$$

M désignant la masse du volant et v la vitesse de l'extrémité du rayon de giration.

La quantité d'énergie rendue disponible entre deux vitesses v_a et v_e, telles que l'on ait $v_e = \alpha v_a$, est

$$L' = \frac{M}{2}(v_a^2 - v_e^2) = \frac{M}{2} v_a^2 (1 - \alpha^2),$$

ce qui correspond à un glissement

$$\sigma = \frac{v_a - v_e}{v_a} = 1 - \alpha.$$

Ces formules montrent que la force vive qu'on peut utiliser dans un volant augmente comme le carré de la vitesse et est d'autant plus grande que le glissement adopté est plus élevé : pour concilier une capacité L aussi forte que possible avec une masse raisonnable, il faut donc chercher à faire fonctionner le volant à la

Digitized by Google

limite de vitesse que permet la résistance des matériaux employés.

Alors que, dans les volants ordinaires en fonte avec bras, on ne peut guère dépasser une vitesse v de 30 m : sec, on peut, en adoptant l'acier coulé et substituant la forme à âme pleine au dispositif à bras, atteindre facilement 80, 100 et même plus de 100 m : sec, mais il sera généralement suffisant de se tenir aux environs de 80 m : sec. Une forme très pratique consiste, pour éviter les soufflures de l'acier, à empiler successivement des plaques d'acier laminé, les unes en forme de disque complet, les autres annulaires, le tout étant solidement maintenu par des rivets. Il faudra naturellement faire grande attention à bien centrer le volant et à établir des paliers et des fondations suffisamment robustes.

La grande vitesse périphérique, nécessaire à la bonne utilisation d'un volant, rend impraticable l'emploi de faibles vitesses angulaires et conduit à l'établissement de *dynamos tampon* (ainsi appelées par analogie avec les *batteries tampon*), à grande vitesse et d'un type spécial, commandant directement un volant établi comme il est dit plus haut.

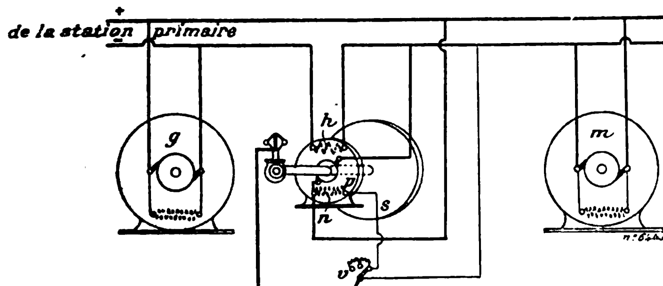


Fig. 1.

Pour faire entrer le volant en action, Kapp utilisait les variations de tension qui accompagnent les oscillations de la charge. La dynamo tampon était bobinée comme une génératrice Compound ordinaire : quand la charge diminuait, la tension du réseau augmentait; le courant circulait dans l'inducteur série, affaiblissait le champ et la dynamo fonctionnait comme moteur Compound dont la vitesse augmentait progressivement, ce qui permettait ainsi d'emmagasiner de l'énergie dans le volant; lorsque la tension venait à baisser par suite de la charge, le courant s'inversait dans la dynamo, dont la vitesse s'abaissait progressivement, pendant que le volant restituait au réseau l'énergie qu'il lui avait empruntée dans la phase précédente.

Ce procédé avait le double inconvénient de n'utiliser que de faibles glissements, ce qui nécessitait d'énormes masses de volants, et de ne fonctionner que par suite même de variations de tension du réseau, qui devaient rester assez considérables pour permettre au volant d'entrer en action.

L'auteur a eu l'idée de faire provoquer la mise en action du volant, par les variations, non plus de la tension, mais de la charge elle-même, ce qu'il a réalisé par le dispositif suivant, dont le schéma est donné dans la figure 1 : g représente la génératrice de la station centrale, p la machine tampon avec son volant s et m le récepteur. L'induit de la dynamo tampon est branché en dérivation sur le réseau, tandis que son inducteur h est intercalé en série et parcouru par le courant total du réseau.

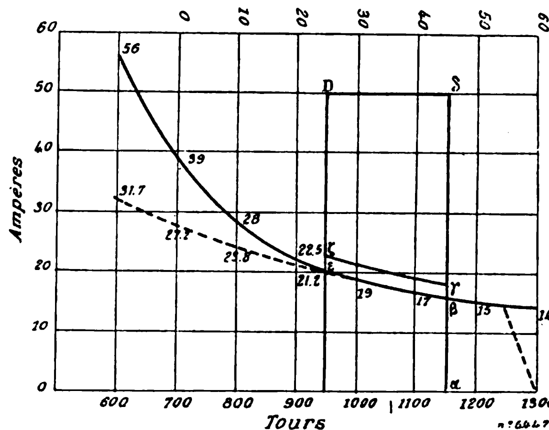


Fig. 2.

Quand les récepteurs sont hors circuit, la dynamo tampon fonctionne comme un moteur série ordinaire; à vide, sa vitesse augmente rapidement, tandis que l'énergie s'accumule dans le volant; le courant qui la parcourt suit la loi représentée dans la figure 2; approximativement, $Jn = C^{te}$, si la saturation du circuit magnétique n'est pas atteinte; dans la pratique, la forme de la courbe est celle qui est indiquée en traits pleins dans la figure 2 : pour 800 t : m, le courant est 28 ampères, et pour 1 200 t : m, il devient 15 ampères.

Si, à ce moment, on démarre des récepteurs,

Digitized by Google

le courant débité par le réseau augmente et, par suite aussi, les ampèretours inducteurs de la dynamo tampon; la vitesse tend à diminuer et le volant restitue alors, sous forme de courant fourni par l'induit, l'énergie qu'il a emmagasinée; la dynamo devient une génératrice à excitation indépendante, dont la force électromotrice est d'autant plus grande que la demande est plus forte sur le réseau.

Supposons qu'on ait effectué ce démarrage quand la machine tampon tournait à 1 150 t : m.

Le courant débité par le réseau était alors (fig. 2) αβ; il augmente seulement de la quantité βγ, pendant que la dynamo tampon fournit un courant γδ, et que le courant total absorbé par les récepteurs est αδ. Si la demande d'énergie continue, la vitesse de la dynamo tampon s'abaisse peu à peu et le courant primaire augmente progressivement jusqu'au point ζ, par exemple, 950 t : m restant supérieur au courant de marche à vide de la petite quantité εζ; si, à ce moment, la demande diminue, la vitesse augmente de nouveau et le même cycle se reproduit, les vitesses maximum et minimum de la dynamo tampon dépendant de la durée respective des deux périodes de repos et de travail.

Une précaution nécessaire à prendre est d'empêcher un emballement dangereux de la dynamo tampon, en cas de repos prolongé ; on y arrive aisément en munissant cette dynamo d'un enroulement supplémentaire en dérivation n, qu'un régulateur centrifuge quelconque introduit dans le circuit, au moment où la vitesse limite fixée est atteinte ; à ce moment, le courant primaire devient évidemment très faible, puisque le seul travail qu'il ait à faire est de vaincre les frottements.

Dans la réalité, le phénomène ne se passe pas suivant la loi indiquée dans la figure 2, il y a un certain retard qui dépend de la masse du volant accouplé à la dynamo : la figure 3 représente la période d'accélération entre 600 et 1 200 tours, pour une tension de 430 volts et un volant plein de 1 000 kg, et montre que le temps nécessaire à l'obtention d'une vitesse élevée est assez long; à mesure que la vitesse augmente, le nombre de kilogrammes à dépenser pour assurer une augmentation de 100 t : m croît très rapidement; entre 700 et 800 t : m, 16 500 kgm; entre 1 100 et 1 200 t : m, 24 000 kgm; d'autre part, le courant et le couple accélérateur vont en décroissant.

Il est évidemment inutile de prévoir une limite inférieure du nombre de tours, qui ne peut descendre au-dessous de la valeur correspondant à la pleine charge de la station primaire.

La figure 4 se rapporte aux essais de la même

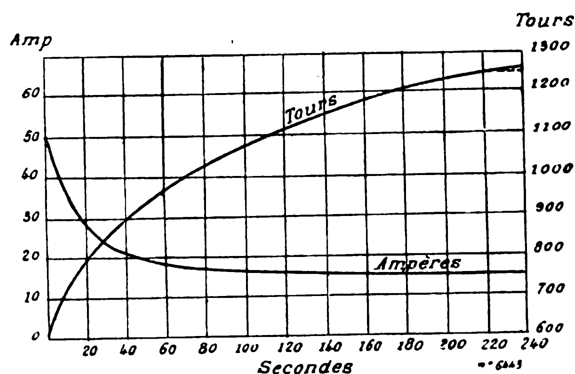


Fig. 3.

dynamo tampon, et représente trois *décharges* du volant depuis 1 230 t : m, sous des courants constants aux récepteurs, d'une valeur de 47, 31,9 et 21,7 ampères pour les trois périodes I, II et III.

On a indiqué le nombre de tours n, le débit de la dynamo tampon J_p et le débit de la génératrice primaire J_g; dans chaque cas, il est bien entendu que $J_p + J_g = J$.

A chaque valeur de J, correspond une limite inférieure de la vitesse, d'autant plus faible que J est plus grand et qui se déduit immédiatement des courbes de la figure 4.

L'auteur indique quelques modifications qu'on peut faire subir à cette disposition, dans les différents cas de la pratique. On peut, en particulier, utiliser le régulateur centrifuge, avec un enroulement shunt, pour faire varier également l'excitation shunt avec la charge; on peut, de plus, disposer les deux enroulements spéciaux série et shunt, h et n, non plus sur la dynamo tampon, mais sur une petite excitatrice spéciale, ce qui sera assez commode dans le cas de dynamos tampon relativement puissantes.

Passant au cas si intéressant des machines d'extraction, l'auteur montre qu'on peut facilement combiner son système avec le dispositif de démarrage dû à Eszberger.

Rappelons rapidement le principe de ce der-

Digitized by Google

nier système employé lorsqu'on dispose d'une station centrale à courant continu, sous 250 volts, par exemple.

Entre le réseau et le moteur d'extraction *f* (fig. 5), on intercale un survolteur *z* à excitation shunt, commandé par un moteur shunt branché sur le réseau. Un rhéostat avec commutateur *w* permet de faire varier le champ du survolteur, depuis une valeur nulle jusqu'à une valeur maximum dans les deux sens, correspondant à la production d'une force électromotrice égale à celle du réseau. Lorsque le moteur *f* est au repos, le champ du sulvolteur est réglé de façon à ce qu'il engendre une force électromotrice

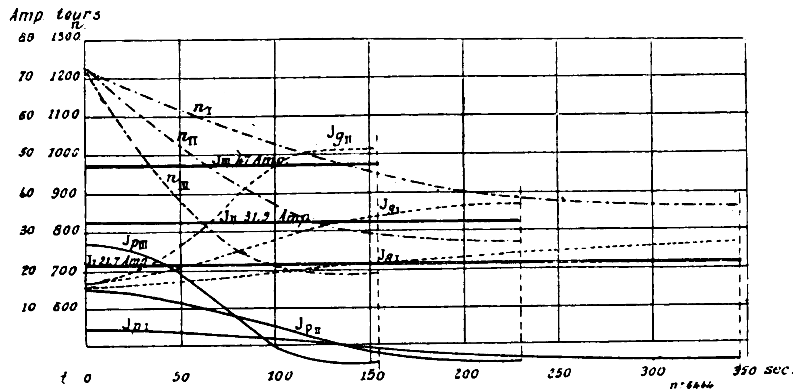


Fig. 4.

égale et opposée à la tension du réseau. Pour démarrer le moteur *f*, on diminue le champ du survolteur graduellement jusqu'à zéro, puis on l'intervertit et on l'augmente peu à peu jusqu'au maximum de sens inverse ; de cette façon la tension aux bornes du moteur d'extraction varie

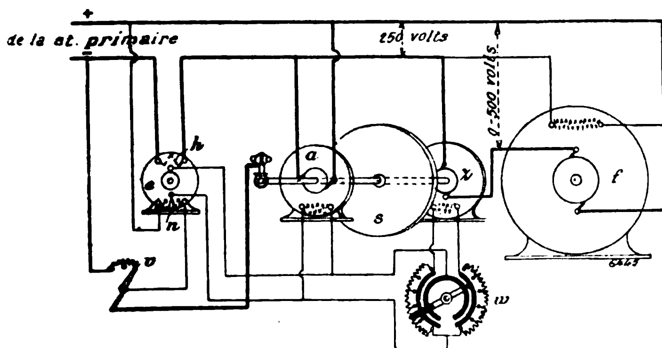


Fig. 5.

d'une façon continue, depuis zéro jusqu'à une valeur double de la tension du réseau.

Indépendamment de l'économie d'énergie qui en résulte, ce procédé permet de remplacer un démarreur pour courant intense, fort coûteux et fort difficile à réaliser dans de bonnes conditions par un simple rhéostat inverseur de champ.

Pour combiner ce système avec l'emploi d'une machine tampon, l'auteur dispose le volant sur l'arbre du moteur-survolteur et alimente en parallèle les inducteurs de ces deux machines avec une excitatrice spéciale *e* (fig. 5), analogue à la dynamo tampon précédente, comportant un induit fermé sur les inducteurs des deux machines du groupe survolteur, un enroulement inducteur *h* en série dans le courant principal et un inducteur *n* en dérivation, avec rhéostat spécial *v* : la mise en parallèle des deux inducteurs du groupe survolteur a pour résultat d'assurer le même fonctionnement qu'à vitesse constante, malgré les variations de vitesse de ce groupe.

La figure 6 donne la marche des courants du moteur d'extraction et de la station centrale, pendant deux courses de levage. La ligne en traits pleins *abcdef* représente la puissance absorbée par le moteur d'extraction ; la ligne pointillée *aghikf*, la puissance fournie par ce même moteur pendant une course. La courbe de charge de la station centrale est représentée, en traits pleins pour la première course, en pointillé pour la seconde course et on voit que l'action du volant est éminemment régulatrice : la seconde course prend naturellement plus d'énergie à la station que la première, la pause étant insuffisante pour permettre au volant de reprendre son nombre de tours du départ ; une troisième course en prendrait encore plus, jusqu'à ce que, au rendement près, il ne soit plus demandé

Digitized by Google

d'énergie au volant pendant le démarrage qu'il lui en est fourni pendant le freinage et l'arrêt.

Quand la station centrale fournit l'énergie sous forme de courants triphasés, on emploie souvent le système Ilgner, dont le principe est le suivant :

Un moteur asynchrone triphasé commande directement, avec interposition d'un fort volant, une génératrice à courant continu, dont on peut faire varier le champ depuis zéro jusqu'à une valeur maximum, génératrice qui alimente le moteur d'extraction : le moteur triphasé voit son glissement augmenter, à mesure que l'on charge la dynamo pour le démarrage du moteur, et par suite le volant restitue progressivement une partie de son énergie vive : mais le glissement d'un moteur asynchrone normal étant très petit, on est obligé de l'augmenter par intercalation progressive de résistances dans l'induit : on est évidemment limité dans cette voie, par la considération du rendement et on ne peut guère dépasser 10 à 12 p. 100 de glissement, tandis qu'avec

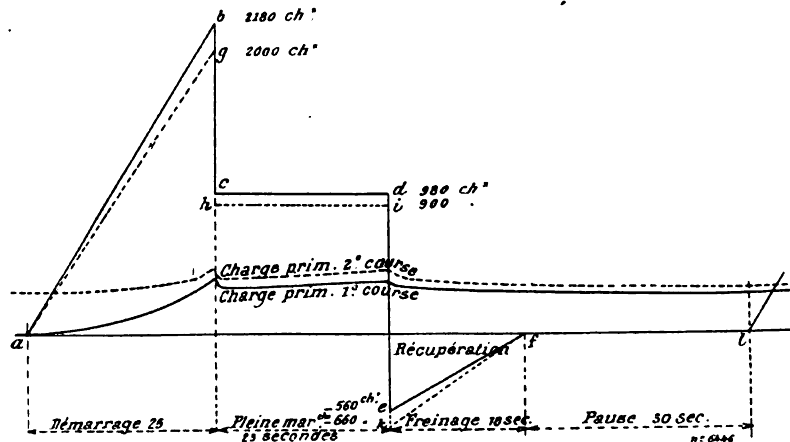


Fig. 6.

le premier système énoncé on pouvait aller jusqu'à 40 ou 50 p. 100, et récupérer ainsi près des trois quarts de l'énergie cinétique du volant. Dans ce système, ce sont les variations de vitesse dues à la charge qui produisent directement la mise en action du volant, alors que c'étaient dans le système Kapp les variations de tension et dans le système de l'auteur, les variations mêmes de la charge.

Si pour terminer, on compare le système de la dynamo tampon de l'auteur à l'emploi d'une batterie d'accumulateurs, on remarquera que la dynamo tampon est sûrement la solution la plus économique et la plus simple, lorsqu'il s'agit de combattre des variations de charge très considérables et d'un rythme assez régulier. La batterie tampon de son côté, présente, dans les autres cas l'énorme avantage de pouvoir emmagasiner l'énergie pendant un temps très long, ce qui lui permet d'assurer au besoin, à elle seule, pendant un temps appréciable, en cas d'accident par exemple, le fonctionnement de l'installation tandis qu'une longue pause n'a pour résultat, dans le système à dynamo tampon, qu'une dépense inutile de courant employé à vaincre les frottements assez considérables d'un lourd volant. Ces raisons conduisent évidemment à faire préférer la plupart du temps, la batterie tampon, pour les centrales de tramways urbains et de chemins de fer à départs peu fréquents.

A. M.

DIVERS

Contribution à l'étude de la déperdition de l'électricité dans l'air, par **Ed. Riecke**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 52-84, août 1903.

1. Déperdition de l'électricité dans un espace limité. — Dans ce qui suit, on désignera par :

N, la densité des ions positifs dans l'espace considéré, v_x, v_y, v_z, les composantes suivant trois axes rectangulaires de la vitesse de ces ions;

N', v'_x, v'_y, v'_z les mêmes grandeurs pour les ions négatifs ;

q le nombre des ions qui prennent naissance pendant une seconde dans un centimètre cube ;

Digitized by Google

$\alpha NN'$, le nombre des ions qui disparaissent en une seconde par recombinaison ;

F_x, F_y, F_z les composantes de la force électrique suivant les axes ;

U, U' les mobilités des ions ;

k, k' leurs coefficients de diffusion ;

v, la vitesse de la lumière ;

ε, la charge élémentaire d'un ion ;

c_x, c_y, c_z les composantes du courant, exprimées comme ε en unités du système électrostatique.

Les équations fondamentales de la déperdition sont :

$$\frac{dN}{dt} = -\sum \frac{d(Nv_x)}{dx} + q - \alpha NN',$$
$$\frac{dN'}{dt} = -\sum \frac{d(N'v'_x)}{dx} + q - \alpha NN'.$$

D'ailleurs, on a les relations :

$$Nv_x = vUNF_x - k\frac{dN}{dx},$$
$$N'v'_x = vU'N'F_x - k'\frac{dN'}{dx},$$

ce qui permet de mettre les équations fondamentales sous la forme :

$$\frac{dN}{dt} = -vU\sum\frac{d}{dx}(NF_x) + k\sum\frac{d^2N}{dx^2} + q - \alpha NN',$$
$$\frac{dN'}{dt} = -vU'\sum\frac{d}{dx}(N'F_x) + k'\sum\frac{d^2N'}{dx^2} + q - \alpha NN'.$$

Si on considère l'espace compris entre deux conducteurs, l'un intérieur chargé positivement d'une charge M, l'autre extérieur relié au sol, le courant de saturation, a pour intensité :

$$c = \varepsilon\Omega q = 4\pi v U'\varepsilon M N'_i,$$

Ω étant le volume de l'espace, N'_i la densité des ions négatifs sur la surface du conducteur intérieur.

Dans le cas de deux conducteurs sphériques concentriques, les fonctions ne dépendent plus que d'une seule coordonnée, la distance r au centre commun des deux sphères.

$$F^2 = \frac{4\pi\varepsilon q}{9}\,\frac{U+U'}{vUU'}\,r^2 + \frac{b_1}{r} + \frac{b_4}{r^4},$$

b_1 et b_4 sont des constantes d'intégration, qu'on choisit de manière à satisfaire aux conditions aux limites. N_i doit s'annuler sur la surface de la sphère intérieure, N'_e sur la surface de la sphère extérieure : sur la première F doit prendre la valeur $F_i = \frac{M}{r_i^2}$.

Si le courant n'est pas tout à fait saturé,

$$F^2 = \frac{4\pi\varepsilon q}{9}\,\frac{U+U'}{vUU'}\,r^2 + \frac{\Phi'}{r} + \frac{\Phi_4}{r^4};$$

Φ_1 et Φ_4 étant des fonctions de r déterminées par les conditions aux limites : leur forme est du reste très compliquée.

Ces calculs théoriques rendent compte des résultats expérimentaux trouvés par Harms.

2. Déperdition dans un espace indéfini ou l'air est animé d'un mouvement uniforme. — La vitesse u de l'air est parallèle à l'axe des x, dans le sens des x négatifs. Dans cet air se trouve une sphère portant une charge M d'électricité négative. En un point (x,y) situé dans le plan des xy la vitesse d'un ion positif sera :

$$\frac{dx}{dt} = -u - vUM\frac{x}{r^3},$$
$$\frac{dy}{dt} = -vUM\frac{y}{r^3};$$

d'où :

$$vUM\frac{x}{r} - \frac{1}{2}uy^2 = \text{const.}$$

ou en prenant les coordonnées polaires r et φ :

$$\cos\varphi = \frac{x}{r} \qquad \sin\varphi = \frac{x}{r}$$

$$vUM\cos\varphi - \frac{1}{2}ur^2\sin^2\varphi = \text{const.}$$

Soit b la valeur de y pour $\varphi = 0$; cette équation s'écrira :

$$b^2 - r^2\sin^2\varphi = \frac{2vUM}{u}(1-\cos\varphi).$$

Cette équation représente la famille des courbes qui sont les trajectoires des ions positifs.

Parmi ces courbes, il y a lieu de distinguer celles pour lesquelles :

1° $b^2 = \frac{4vUM}{u}$, et dont l'équation s'écrira :

$$r^2\sin^2\varphi = \frac{2vUM}{u}(1+\cos\varphi).$$

Elle coupe normalement l'axe des x au point :

$$(\varphi = \pi) \quad r^2 = \frac{vUM}{u}$$

Digitized by Google

et l'axe des y aux deux points symétriques :

$$r^2 = \frac{2\nu UM}{u}.$$

2° $b^2 > \frac{4\nu UM}{e}$, la courbe ne passe plus par l'origine :

3° $b^2 = \frac{2\nu UM}{e}$: la courbe est tangente à l'axe des y à l'origine des coordonnées.

4° $\frac{4\nu UM}{u} > b^2 > \frac{2\nu UM}{u}$, la courbe passe par l'origine où elle fait avec l'axe des x un angle déterminé par l'équation :

$$\cos\varphi = -\frac{b^2}{\left(\frac{2\nu UM}{u}\right)} + 1$$

et coupe l'axe des y aux points tels que :

$$y^2 = b^2 - \frac{2\nu UM}{u}.$$

5° $\frac{2\nu UM}{u} > b^2 > 0$; la courbe coupe l'axe des y en un seul point :

$$\cos\varphi = 1 - \frac{b^2}{\left(\frac{2\nu UM}{u}\right)}.$$

Pour les ions négatifs, l'équation de la famille des trajectoires est :

$$\nu U'M\cos\varphi + \frac{1}{2}uy^2 = \text{const.}$$

ou

$$y^2 - b^2 = \frac{2\nu U'M}{u}(1 - \cos\varphi).$$

Si $b = 0$,

$$y^2 = \frac{2\nu U'M}{u}(1 - \cos\varphi).$$

La courbe coupe l'axe des y aux points

$$y^2 = \frac{2\nu U'M}{u};$$

pour $\varphi = \pi$

$$y^2 = \frac{4\nu U'M}{u};$$

pour $\varphi = 0$

$$y = 0, \quad r^2 = \frac{\nu U'M}{u}.$$

Sur la figure 1 les courbes tracées en traits pleins sont les trajectoires des ions positifs : les courbes en traits interrompus, celles des ions négatifs.

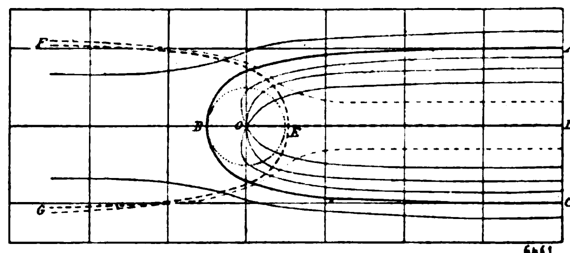


Fig. 1.

O est le centre de la sphère électrisée : les courbes ABO, CBO répondent au cas :

$$b^2 = \frac{4\nu UM}{u}.$$

Par suite :

$$DA = DC = 2\sqrt{\frac{\nu UM}{u}}$$

Les courbes DEF et DEG correspondent à $b = 0$.

L'espace FEG serait entièrement dénué d'ions négatifs, s'il n'y avait ni diffusion, ni ionisation nouvelle.

En faisant tourner la courbe AB autour de BD, la surface obtenue limite l'espace dans lequel se trouvent toutes les trajectoires des ions qui aboutissent en O. Si on décrit de O comme centre une sphère de rayon OB, tous les ions positifs qui se meuvent dans l'espace ABC cèdent leur charge à la surface de cette sphère.

A une grande distance de O, cette surface se confond avec un cylindre dont la section est $\pi\overline{DA}^2$. Le nombre des ions, qui traversent cette section en une seconde, est :

$$\pi\overline{DA}^2.uN$$

correspondant à une quantité d'électricité :

$$\pi\overline{DA}^2uN\varepsilon$$

La même quantité d'électricité se dépose en une seconde sur la sphère, qui par conséquent perd par seconde une partie de sa charge négative M égale à :

$$dM = \pi\overline{DA}^2uN\varepsilon$$
$$= 4\pi\nu UMN\varepsilon$$

Digitized by Google

Cette déperdition est indépendante de la vitesse de déplacement de l'air.

3. Masse des ions contenus dans l'air. — Soient μ_p la masse d'un ion positif, l_p son trajet moyen, u_p sa vitesse moléculaire. En raisonnant sur ces ions comme sur les molécules gazeuses dans la théorie cinétique, on trouve : pour la mobilité absolue,

$$U = \frac{2}{9}\, l_p u_p \, \frac{\varepsilon N}{\nu p},$$

p étant la pression partielle des ions ; et pour le coefficient de diffusion k,

$$k = \frac{2}{9}\, l_p u_p.$$

Considérons d'autre part les molécules neutres et les ions positifs et appliquons-leur les formules de Maxwell pour le mélange de deux gaz. Désignons par s, le diamètre des molécules neutres, s_p celui des ions, α la vitesse molécu-moléculeslaire des neutres, on aura :

$$\frac{l_p}{l} = \frac{4\sqrt{2}}{\left(1+\frac{s_p}{s}\right)^2}\sqrt{\frac{u_p^2}{\alpha^2+u_p^2}};$$

et de même pour les ions négatifs :

$$\frac{l_n}{l} = \frac{4\sqrt{2}}{\left(l+\frac{s_n}{s}\right)^2}\sqrt{\frac{u_p^2}{\alpha^2+u_n^2}}.$$

D'après les données numériques, il est vraisemblable que la masse des ions positifs et aussi celle des ions négatifs sont plus grandes que celles des molécules d'air. Mais l'intensité d'un courant de saturation, dans les conditions réalisables, est trop faible pour qu'on puisse songer à déterminer la masse des ions par une pesée directe.

La terre possède une charge négative. Si cette charge provient de l'*absorption* des ions, c'est-à-dire de leur fixation à la surface des conducteurs, il faut que cette absorption soit plus grande pour les ions négatifs que pour les positifs. La force électrique et la densité de la charge négative doivent être d'autant plus grandes que la déperdition des charges négatives l'emporte davantage sur celle des charges positives.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 14 septembre 1903 [1].

Simplicité des spectres de la lumière cathodique dans les gaz azotés et carbonés; par **H. Deslandres**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 457-465.

La lumière cathodique est, comme on sait, la lumière spéciale qui entoure, ainsi qu'une gaine, le pôle négatif, dans l'illumination électrique des gaz raréfiés ; elle se distingue, par la couleur et le spectre, des autres parties de l'étincelle qui forment la lumière dite *du pôle positif*. Lorsque la pression diminue, la gaine cathodique s'élargit ; et, aux pressions très basses, elle envahit le tube à vide tout entier. A son contact, le verre devient phosphorescent, et c'est alors que les rayons spéciaux issus de la cathode, dits *rayons cathodiques*, apparaissent avec netteté. Ils donnent une tache brillante sur le verre ; de plus, ils illuminent faiblement le gaz sur leur passage, la couleur et le spectre étant à peu près les mêmes qu'avec la gaine cathodique aux pressions plus hautes.

La lumière cathodique est intéressante comme due à l'action des rayons cathodiques sur le gaz et aussi comme étant la seule lumière connue des gaz aux très basses pressions. A ce point de vue, elle doit fixer l'attention des astronomes qui rencontrent des gaz très raréfiés dans l'atmosphère du Soleil, les comètes et les nébuleuses.

Résumé des observations. — M. Deslandres a cherché autrefois déjà la lumière cathodique

[1] Aucune communication d'ordre électrique n'a été présentée aux séances du 31 août et du 7 septembre.

Digitized by Google

dans l'air et l'azote [1], et a relevé avec soin son spectre spécial, qui est un spectre de bandes. Même il a annoncé que la bande la plus forte (λ 391) devait exister intense dans l'aurore boréale terrestre ; sa présence a été reconnue plus tard par Paulsen.

M. Deslandres a fait récemment la même recherche sur les gaz carbonés (composés oxygénés et hydrogénés). La comète brillante de cette année, qui montre si nettement les bandes du carbone [2] avait ramené son attention vers les gaz dont il a relevé le premier en 1888 les bandes ultra-violettes, mais dans la partie positive seulement. Il restait à reconnaître la lumière cathodique, au moins dans la région ultra-violette.

Les gaz étudiés (oxyde de carbone, acide carbonique et acétylène pur ont été illuminés dans des tubes spectraux, à partie capillaire et à électrodes d'aluminium, fermés par une lame de quartz. Pour chaque gaz, on a fait deux épreuves distinctes : *a*. Une épreuve qui offre juxtaposés les spectres de la partie capillaire et de la gaine négative, la pression du gaz étant voisine de 3 mm ; *b*. Une épreuve qui présente juxtaposés deux spectres de la partie capillaire, obtenus l'un à la pression de 3 mm, l'autre à une pression inférieure à $\frac{1}{20}$ de millimètre. La comparaison des deux spectres sur chaque épreuve fait ressortir les raies et bandes propres à la lumière cathodique.

Dans la partie lumineuse déjà reconnue et dans la première moitié de la région ultra-violette (de λ 400 à λ 300), la lumière cathodique ou négative offre à peu près le même spectre que la lumière positive ; mais, dans la seconde moitié du spectre ultra-violet (de λ 300 à λ 200), elle présente un spectre spécial caractéristique, qui est un spectre de bandes nouveau et s'ajoute aux cinq spectres de bandes du carbone déjà connus. Ce spectre nouveau est surtout net et intense avec les composés oxygénés ; avec les composés hydrogénés, l'hydrogène et le spectre continu intense qu'il émet dans cette région sont une gêne sérieuse.

(1) Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes. *Comptes rendus*, t. CIII, 1886, p. 375.

(2) Spectre de bandes des composés hydrogénés et oxygénés du carbone. *Comptes rendus*, t. CVI, 1888, p. 842), et Observations spectrales de la comète Borrelly (1903 *c*), *Comptes rendus*, même tome, p. 393.

Cependant ce spectre est situé trop loin dans l'ultra-violet pour avoir un intérêt astronomique ; s'il est émis par les comètes, il est arrêté par l'atmosphère terrestre. Mais il a par lui-même une importance réelle.

Les longueurs d'onde et nombres de vibrations des têtes des nouvelles bandes ont été déterminés par comparaison avec le spectre du fer de kayser et Runge. Le tableau suivant résume les mesures [1] :

Intensité (10 étant la plus forte).	Longueur d'onde ramenée au vide λ.	Nombres de vibrations ramenées au vide N.	Dispersion employée.
4	2190,51	45651,4	1 qu.
7	2300,36	43473,4	2 sp.
7	2325,93	42995,5	2 sp.
4	2353,23	42496,5	2 sp.
8	2420,29	41318,8	2 sp.
8	2446,69	40872,9	2 sp.
4	2475,10	40403,6	2 sp.
3	2505,39	39915,0	1 sp.
5	2551,20	39198,1	2 sp.
6	2578,39	38784,6	2 sp.
4	2607,95	38344,8	1 sp.
4	2639,63	37884,6	1 sp.
2	2694,80	37108,7	1 sp.
3	2723,06	36723,5	1 sp.
1	2753,65	36315,5	1 sp.
1	2786,51	35887,1	1 sp.
10	2883,86	34675,3	2 sp.
10	2897,11	34516,8	2 sp.

Les seize premières bandes du tableau sont toutes semblables et tournées vers le rouge ; mais les deux dernières, très intenses, qui sont dégradées dans les deux sens, et ont une structure différente, d'ailleurs très curieuse [2], doivent être mises à part. Il sera question seule-

(1) Pour avoir toutes les bandes, faibles et fortes, on a dû employer trois spectrographes de transparence et de dispersion différentes, comprenant successivement un prisme de quartz, un et deux prismes de spath d'Islande. La dernière colonne indique, pour chaque raie, le prisme employé. Avec deux prismes de spath, les longueurs d'onde sont mesurées à moins de 0μ,10.

(2) Ces deux dernières bandes, dont l'aspect rappelle les raies H et K des protubérances photographiées au bord solaire extérieur, ont été vues seulement avec les composés oxygénés du carbone. Peut-être sont-elles dues à l'oxygène ; on n'a fait aucune recherche spéciale pour reconnaître leur origine.

Digitized by Google

ment des premières bandes dans ce qui va suivre [1].

Propriétés de la lumière cathodique. — Les bandes précédentes forment un spectre bien net et distinct; car elles obéissent aux lois générales suivantes, posées par l'auteur de 1885 à 1888, et qui caractérisent le spectre de bandes dû à un même corps : le spectre est formé par la répétition de groupements de raies semblables tels que raies simples ou doublets, triplets..., octuplets, etc., et la répétition, représentable par une table à trois entrées, est réglée par une fonction de trois paramètres m, n, p, et de la forme $N = f(n^2p^2) \times m^2 + Bn^2 + \varphi(p^2)$; N étant le nombre de vibrations, m, n, p les nombres entiers successifs, B une constante, f et φ des fonctions qui peuvent être quelconques.

En effet, les arêtes des bandes peuvent être groupées en séries arithmétiques égales, de la façon suivante :

Série I.		Série II.		Série III.		Série IV.	
N observés.	Intervalles.	N observés.	Intervalles.	N observés.	Intervalles.	N observés.	Intervalles
456514							
	21780						
434734							
	21546						
413188		429955					
	21207		21226				
391981		408729		424965			
	20893		20883		20929		
371087		387846		404036			
			20611		20588		
		367235		383448		399150	
					20293		20304
				363155		378849	
							19975
						358871	

A de faibles différences près, les intervalles, dans chaque série, sont en progression arithmétique, et les quatre séries sont superposables. Les nombres de vibrations sont disposés de manière que les intervalles égaux des séries sont sur une même ligne horizontale.

Les paramètres n et p qui fournissent les arêtes des bandes ont, dans ce spectre, le premier huit valeurs différentes et le second quatre seulement. Mais le paramètre m, qui donne les raies d'une même bande, a un nombre plus grand de valeurs (de 0 à 30 ou 40).

Toutes les bandes du spectre sont en effet semblables, et formées de raies dont les intervalles successifs sont en progression arithmétique. La case III montre une de ces bandes résolue en raies fines et représentable tout entière par la formule

$$N = 4131865 - 0{,}00913490\,(4m + 3)^2.$$

Les écarts entre les nombres observés et calculés sont tous inférieurs à la raison, et l'écart moyen quadratique a la valeur 0,147 qui correspond à l'erreur de pointé.

Mais le point capital, sur lequel l'auteur insiste, est que les bandes n'offrent qu'une seule série arithmétique, alors que, dans les cinq spectres de bandes connus du carbone, observés au pôle positif, le nombre des séries est plus grand. Ainsi, le spectre de droite de la case II a des bandes formées de deux séries arithmétiques enchevêtrées (voir le dessin des *Comptes rendus*, t. CVI, 1888, p. 842) et les autres spectres du carbone ont des bandes encore plus complexes. Autrement dit, le spectre du pôle négatif est formé par la répétition de raies simples, alors que les cinq autres spectres de bandes du carbone observés au pôle positif sont formés par la répétition de doublets ou de groupements plus compliqués.

Ces différences sont curieuses; or elles se retrouvent aussi avec le gaz azote, qui a, comme on sait un spectre de bandes spécial au pôle négatif et trois spectres de bandes distincts au pôle positif. Le spectre de bandes négatif est formé par la répétition de raies simples, alors que les trois positifs présentent au moins des triplets, l'un d'eux même, le plus réfrangible, étant formé par des octuplets. Une bande négative de l'azote (λ 391,45, N 2554) offre à première vue une seule série arithmétique et est très semblable à la bande du carbone [1].

« *En résumé*, conclut M. Deslandres, *dans*

[1] Ces recherches expérimentales ont été faites avec le concours de deux assistants, M. d'Azambuja et M. Kannapell, qui ont aidé M. Deslandres, le premier dans les observations spectrales, et le second dans les calculs.

[1] Les deux bandes diffèrent en ce sens qu'elles sont l'une tournée vers le rouge et l'autre vers le violet : mais elles ont à peu près la même raison et présentent chacune, à la même distance de la tête, un espace obscur, où les raies sont à peine perceptibles.

Digitized by Google

les gaz de l'azote et du carbone, *la lumière cathodique a une simplicité remarquable*, et cette propriété, qui est probablement générale, devra être recherchée dans les autres gaz.

» On peut chercher à pénétrer la nature intime du phénomène et présenter le résultat d'une manière plus saisissante, mais en s'appuyant un peu sur l'hypothèse. J'ai déjà développé en 1890 les raisons qui font dépendre de la structure ou de la formule chimique du gaz illuminé, le nombre et le groupement des raies dont la répétition forme les spectres de bandes. Or les nombreux spectres du carbone et de l'azote énumérés plus haut sont dus à des états allotropiques différents des corps simples ou à des combinaisons avec les éléments de l'eau. Dans ces conditions, les spectres du pôle positif, formés par la répétition de raies multiples, correspondent à de véritables molécules ayant plusieurs atomes; les spectres négatifs, au contraire, sont dus à un atome unique; aussi peut-on dire : *Lorsque le rayonnement cathodique qui, étant faible, ionise les gaz, est assez fort pour les illuminer et donner un spectre de bandes, il les décompose en leurs éléments chimiques les plus simples.*

» Lorsque l'étincelle électrique est plus nourrie, le spectre de bandes disparaît, comme on sait, et fait place à un spectre de lignes (qui est d'ailleurs le seul spectre donné par certains gaz). Cette troisième phase, caractérisée par l'action du champ magnétique sur les raies, sera examinée ultérieurement. »

Description d'un orage très localisé, par **Jean Mascart**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 468-469.

Dans la situation météorologique rapidement variable de ces temps derniers, un orage local fut aperçu par différentes personnes, notamment à Colombes (Seine) et à Mitry (Seine-et-Marne). Voici son aspect dans cette dernière station :

« Le jeudi 3 septembre, après une journée légèrement orageuse (baromètre, 758 mm,), le ciel se découvrit vers le soir, et la Lune qui devait être pleine 4 jours après, se leva dans un ciel d'une pureté absolue : dans la direction N-N-W, un nuage de peu d'étendue, à peine élevé de 15° au-dessus de l'horizon, présentait une masse gris bleu, de forme presque parfaitement rectangulaire. Vers 7 h. 45 m., des éclairs très brillants commencèrent à sillonner le nuage sans que l'on entendit le moindre bruit et, jusque vers 8 h. 30 m. un feu d'artifice ininterrompu illumina ce nuage. Le spectacle était saisissant et féerique : la forme et le tracé des nombreux éclairs, nettement visibles, s'étendaient dans toutes les directions et illuminaient l'intérieur du nuage, faisant ainsi saillir les formes de gros cumuli très pittoresques. Aucun bruit ne troublait la nuit très pure et constellée.

» Vers 9 h. 15 m. le phénomène était terminé [1] : peu à peu, des nuages se formèrent sur place et, vers 10 heures, le ciel était presque entièrement couvert. Il ne plut pas cette nuit-là.

» Or, quelle est la situation météorologique, particulièrement en ce qui concerne le nord de Paris ?

» Le mercredi 2, à Paris, éclairs toute la journée. On doit encore attendre un ciel nuageux, en France, pour le lendemain jeudi : en effet, les observations du 3, 7 heures du matin, montrent qu'une dépression circonscrite, signalée la veille a traversé la France du sud-ouest au nord-est pour se trouver près de Hambourg, tandis qu'une zone de hautes pressions se propage vers le nord de l'Europe. Effectivement, le jeudi, à Paris, le ciel est nuageux avec une faible pluie.

» Le lendemain matin, vendredi 4, à 7 heures, la situation s'est modifiée dans l'ouest, car des dépressions s'avancent du large sur le golfe de Gascogne et les Iles Britanniques : la température a tendance à se relever, avec orages dans l'ouest de la France. Ces troubles, très circonscrits, qui traversent la France du sud-ouest au nord-est à partir du golfe de Gascogne, peuvent prendre, au reste, une importance considérable avec leur grande vitesse de translation; c'est ainsi qu'une petite dépression, insignifiante en apparence, signalée sur le golfe de Gascogne le dimanche matin 6 septembre, se trouvait le soir même au sud de Paris et, 12 heures après, au sud de Hambourg. Suivant cette rapide trajectoire, on signale des pluies abondantes, 84 mm à Bilbao, 43 mm à Biarritz, 29 mm à Bordeaux, 30 mm à Paris en 5 heures de temps (5 heures à 10 heures), 31 mm à Saint-Maur, 18 mm à Bruxelles, etc.

» Existe-t-il un trouble analogue, susceptible

[1] Le nuage paraît s'être élevé très légèrement sur l'horizon.

Digitized by Google

d'avoir engendré l'orage local que nous signalons ?

» Dans les dépêches du Bureau météorologique on ne signale rien, au nord de Paris, en fait d'éclairs ou de pluies ; loin de là, à Hambourg, dans la nuit du jeudi au vendredi, on note une pluie inappréciable au pluviomètre. Seule, la station de Saint-Maur, signale un orage, jeudi soir, entre 10 heures et 11 heures.

» Cependant, en examinant de plus près les cartes du Bureau météorologique, on peut noter un foyer de perturbation dans le voisinage de notre phénomène. Le jeudi matin, une petite dépression circulaire de 65 mm., très circonscrite, est appréciable à l'est-sud-est de Paris, avec tendance à se diriger vers le nord : vent du nord à Paris, sud-ouest à Belfort et Besançon, sud à Nancy et au-dessous de la dépression. Le jeudi soir, ce petit mouvement a légèrement remonté, avec les mêmes caractères généraux : vent du nord-est à Paris, ouest-sud-ouest à Nancy, et au sud-ouest à Belfort, mais toujours à l'est et sud-est de Paris, une petite zone à 65 mm au milieu d'un état de hautes pressions. La même situation subsiste sur la carte de 7 heures du matin le vendredi, quoique un peu moins nette.

» Nous ne voulons pas dire que l'orage local que nous signalons soit dû à la petite perturbation permanente que l'on peut retrouver sur les cartes ; mais, tant que l'on ne possédera pas d'autres données sur cet orage, il nous a paru intéressant de rapporter l'aspect bizarre sous lequel il s'est présenté, et de le rapprocher d'un examen plus complet de la situation générale en France au même instant. »

Séance du 21 septembre 1903.

Sur les propriétés et la constitution des aciers au manganèse, par **Léon Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 480-483.

Les aciers au manganèse ont fait l'objet d'une étude importante de la part de M. Hadfield. De plus, M. Osmond a montré que les aciers au manganèse, non magnétiques, possèdent la structure polyédrique. L'auteur a repris l'étude des aciers au manganèse, tant au point de vue micrographique qu'au point de vue mécanique.

Ses recherches ont porté sur deux séries d'aciers très purs : la première renferme de 0,100 à 0,250 p. 100 de carbone, le manganèse va en croissant de 0 à 33 p. 100 ; la deuxième contient de 0,700 à 0,950 p. 100 de carbone et le manganèse croît de 0 à 12 p. 100.

Les principaux résultats de ces recherches peuvent être résumés ainsi :

Micrographie des aciers bruts de forge. — Il y a une similitude très grande entre les aciers au manganèse et les aciers au nickel ; mais il faut beaucoup moins de manganèse (moins de la moitié) pour produire le même effet que le nickel. De plus, dans les aciers suffisamment carburés (renfermant plus de 0,500 p. 100 de carbone environ) on n'observe pas de martensite pure, mais bien de la martensite et de la troostite, voire même parfois de la troostite pure.

Le tableau suivant résume la constitution des aciers bruts de forge :

Classes	Microstructure.	Aciers à faible teneur en C.	Aciers carburés.
I....	perlite	de 0 à 5 °/₀ Mn	de 0 à 3 °/₀ Mn
II...	martensite ou troostite	de 5 à 12 °/₀ Mn	de 3 à 7 °/₀ Mn
III..	fer γ	teneur en Mn > 12 °/₀	teneur en Mn > 7 °/₀

Les aciers de la deuxième classe sont à martensite lorsqu'ils renferment moins de 0,500 p. 100 de carbone ; ils sont à troostite, lorsqu'ils en contiennent davantage.

Comme pour les aciers au nickel, cette deuxième classe doit subir une subdivision, suivant que l'acier est formé de fer et de martensite, de martensite pure ou de martensite et de fer γ.

Micrographie des aciers trempés. — Les transformations micrographiques obtenues par recuit, trempe, écrouissage ou refroidissement sont identiques à celles que l'auteur a déjà signalées pour les aciers au nickel.

Les aciers formant la limite entre la deuxième et la troisième classes présentent les phénomènes déjà signalés. C'est ainsi que le recuit, la trempe, l'écrouissage et le refroidissement à — 78° ont produit de la martensite dans les aciers polyédrique à 12,9 p. 100 Mn de la première série et à 7,2 p. 100 Mn de la deuxième série.

Propriétés mécaniques. — L'auteur a pratiqué sur ces aciers des essais à la traction, au choc par la méthode Frémont et à la dureté par la méthode Brinell.

Les résultats obtenus sont en concordance absolue avec la microstructure.

Digitized by Google

Les aciers perlitiques offrent une charge de rupture un peu plus élevée que les aciers au carbone ordinaire, et cela d'autant qu'ils contiennent plus de manganèse. *Ils offrent une très grande résistance au choc.* Ceci prouve nettement, au contraire de ce qui a été admis dans le monde métallurgique à la suite des recherches de M. Hadfield, que le manganèse ne rend pas, par lui-même, les aciers fragiles et que ceux-ci ne le sont que lorsque la somme C + Mn est en quantité suffisante pour amener la structure martensitique.

Les aciers à fer γ ont des propriétés très remarquables, qui ont été indiquées pour la première fois par M. Hadfield.

Le tableau suivant donne quelques résultats sur aciers bruts de forge :

Composition — Carbone.	Composition — Manganèse.	Structure	R.	E.	A °/o	Σ([1]).	Essais au choc (Méthode Frémont)
0,273	1,3	Perlite	42,5	28,2	24,5	73,4	39 kgm
0,104	1,7	Perlite	49,7	28,6	17,5	58,2	36
0,236	2,1	Perlite	55,7	40,7	15,5	57,2	28
0,276	5,6	Martensite	71,9	71,9	0,2	2,9	3
0,034	6,1	Martensite	118,3	84,3	0,2	0	3
0,156	12,9	acier sur la limite	65,5	30,0	3,5	6,0	12
0,296	33,5	Polyèdres	61,4	34,2	4,5	74,6	28
0,873	0,5	Perlite	114,9	59,5	6	9	3
0,840	2,0	Perlite	105,4	79,1	1	3	3
0,934	3,0	Perlite	100,9	82,8	0,5	0	3
0,762	5,1	Martensite + fer γ	86,6	60,2	2	3	0
0,700	7,2	acier sur la limite	56,5	41,4	6,0	7,5	10
0,960	12,0	Polyèdres	89,6	61,8	15,0	14,7	23

En résumé, conclut M. Guillet, les résultats que j'ai obtenus montrent la coïncidence parfaite des essais métallographiques et mécaniques. De plus, j'ai pu établir la grande similitude qui existe entre les aciers au manganèse et au nickel.

Enfin les essais au choc montrent nettement que les aciers peu carburés et à teneur inférieure à 4 ou 5 p. 100 de manganèse, ne sont nullement fragiles.

J'espère pouvoir résumer ces résultats dans un diagramme aussi simple que celui que j'ai donné pour les aciers au nickel. »

([1]) On a adopté pour la striction $\Sigma = \frac{S - s}{S} \times 100$.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 1er juillet 1903 ([1]).

Résultats d'essais récents effectués sur les moteurs Couffinhal, par J. Courbier.

L'auteur indique les résultats de quelques essais qu'il a eu l'occasion de faire récemment sur des moteurs à entrefer variable, et présente quelques exemples de leur application à la commande des machines pour lesquelles la vitesse doit varier entre des limites assez étendues et cela d'une façon continue.

« Supposons, dit-il, une machine, un tour par exemple, commandée par un moteur électrique. Jusqu'à présent, dans les divers systèmes adoptés, la variation de vitesse propre de l'outil est obtenue par des moyens mécaniques (cônes ou changement d'engrenages) ; entre ces différentes vitesses, on en intercale un certain nombre correspondant aux diverses touches du rhéostat d'excitation, ce dernier pouvant donner au plus une variation extrême dans le rapport de 1 à 2.

» En résumé, on peut bien disposer de vitesses entre des limites suffisamment étendues, mais la variation n'est pas continue. Nous ne parlons pas, en effet, des rhéostats liquides qui sont toujours délicats et ne sont guère pratiques dans un atelier.

» Or, et c'est là le point important de notre communication, si l'on veut faire rendre à l'outil le maximum de production, il est nécessaire de pouvoir disposer exactement de la vitesse qui lui correspond, le moindre écart entraînant une diminution dans le rendement de la machine.

» Par exemple, avec les nouveaux aciers de grande résistance, il est utile de pouvoir disposer à la coupe de l'outil de la vitesse maximum que celui-ci peut supporter, vitesse qui varie suivant la prise et le serrage que l'on admet par révolution.

» Pour des aciers de 45 kg à 55 kg de résistance par millimètre carré, avec une prise de l'outil de 2,5 mm, un serrage par révolution de 0,72 mm, la vitesse périphérique était de 40,30 m à la minute, et le poids de métal enlevé par heure de 34 kg. Au contraire, avec le même acier, la prise de l'outil étant de 13,5 mm, le

([1]) D'après le *Bulletin de la Société Internationale des Électriciens*, 2e série, t. III, p. 331-349.

Digitized by Google

serrage par révolution de 1,5 mm, la vitesse périphérique n'était plus que de 9,66 mm, le poids de métal enlevé par heure s'élevant à 91,700 kg.

» Je citerai aussi le cas de certaines fabriques de papier où deux conditions sont à réaliser pour la vitesse des moteurs : d'abord très grande variation possible allant jusqu'au rapport de 1 à 10, ensuite possibilité d'avoir exactement la vitesse voulue, des questions de fabrication telles que grain et poids du papier ne permettant pas un écart même très faible.

» C'est pour arriver à réaliser ces conditions que, dans certaines papeteries, nous avons vu adopter la solution suivante : une machine à vapeur commandait une dynamo génératrice, laquelle actionnait un moteur commandant enfin la machine à papier. En agissant, soit sur la machine à vapeur, soit sur les rhéostats d'excitation des deux dynamos, on arrivait à régler exactement la vitesse à sa valeur normale.

» Le moteur dont je vous entretiens aujourd'hui poursuit un double but : d'abord il permet la suppression d'un certain nombre de poulies, de cônes et de relais d'engrenage, puisque, à lui seul, il peut donner des vitesses variant dans le rapport de 1 à 4 ; ensuite, il permet de faire rendre à l'outil le maximum de travail utile en lui donnant exactement la vitesse qui lui convient. Notons enfin que l'on supprime ainsi les difficultés et dangers de manœuvre et le temps perdu pour opérer les changements d'engrenages ou les déplacements de courroies.

» Ces moteurs font l'objet de deux brevets en date du 16 février 1901 et du 8 mars 1902, appartenant à la maison Couffinhal et ses fils, constructeurs électriciens à Saint-Etienne.

» Ils sont basés sur le réglage de vitesse par variation continue de la grandeur de l'entrefer.

» Un effet analogue à celui produit par l'introduction de résistances dans le circuit inducteur est obtenu ici en faisant varier la réluctance du circuit magnétique par la modification de l'entrefer. La réaction d'induit diminuant à mesure que l'entrefer augmente, il en résulte que le calage des balais reste fixe et que la production des étincelles du collecteur est reculée jusqu'à des écarts considérables de vitesse tout en maintenant la puissance du moteur. Les courants induits et inducteurs restent donc constants, c'est-à-dire que la constitution électrique du moteur est toujours la même quels que soient les écarts variables des pôles, écarts limités seulement par la dispersion nuisible du flux.

» Les pièces polaires sont ajustées à frottement doux dans le circuit. La surface de contact est suffisamment grande pour que le joint magnétique entre le circuit et les pièces polaires ait une résistance négligeable.

» Pour produire l'écartement progressif des pôles, on emploie l'un des deux dispositifs ci-après, suivant que la machine est bipolaire ou multipolaire.

» Dans les bipolaires, le déplacement est obtenu par une genouillère dont les deux branches sont reliées, d'une part aux pôles, d'autre part à une tige filetée comme une douille-écrou solidaire du bâti de la machine. Cette douille porte à sa partie supérieure un volant de manœuvre. La tige filetée produit ainsi le mouvement de redressement ou d'infléchissement de la genouillère et par suite l'éloignement ou le rapprochement des pôles. Pour réduire autant que possible le frottement de cette douille-écrou sur son appui, il se fait sur roulement à billes. Pour les moteurs d'une puissance un peu grande, on équilibre par un ressort antagoniste la puissance d'attraction des pôles. On réduit ainsi notablement l'effort de manœuvre du volant lorsque l'entrefer est minimum.

» Pour les moteurs multipolaires, le déplacement simultané des pôles est obtenu au moyen d'un anneau en bronze ajusté sur le bâti de la machine. A chaque pôle correspond un plan incliné faisant partie de l'anneau et chaque pièce polaire est ajustée à frottement doux sur le plan incliné correspondant. En un point de sa périphérie, l'anneau est muni de dents qui engrènent avec une vis solidaire du bâti de la machine et commandée par deux volants ; les butées de cette vis sont à roulements à billes.

» Comme pour les moteurs bipolaires, on munit les pièces polaires de ressorts antagonistes équilibrant l'effort d'attraction magnétique qui s'oppose à l'augmentation d'entrefer. On peut ainsi obtenir très facilement les variations d'allure du moteur pendant son fonctionnement.

» L'objection la plus sérieuse que l'on pouvait faire à ce genre de moteurs était la diminution du rendement avec les grandes vitesses. Je ne crois pas pouvoir mieux y répondre qu'en in-

Digitized by Google

diquant les résultats d'essais récents d'un de ces moteurs au frein de Prony.

» La machine essayée était bipolaire et développait sa charge normale pour 28 ampères sous 220 volts. Deux séries de mesures ont été effectuées et correspondent à la pleine charge et à la demi-charge.

» Le tableau et les courbes ci-dessous (fig. 1) indiquent les résultats trouvés :

	Demi-charge : 220 volts. — 14,5 ampères.		Pleine charge : 220 volts. — 28 ampères.	
Entrefer.	Vitesses.	Rendement pour 100.	Vitesses.	Rendement pour 100.
3. . .	465	83	485	85,5
12. . .	618	85	620	87
23. . .	961	82,5	1007	85
31. . .	1253	82	1263	83,5
39. . .	1500	80,2	1460	82,5
44. . .	1701	79,5	1628	81
48. . .	1809	79	1800	80

» Un autre essai fait sur la même machine a été la séparation des pertes par courant de Foucault des pertes mécaniques et par hystérésis, par la méthode de Housman. Le tableau et les courbes ci-dessous indiquent les résultats trouvés :

» La résistance de l'induit, y compris la résistance des balais de charbon et la résistance de contact, ayant été trouvée de 0,63 ohm, la chute de tension dans l'induit est de 17,6 volts, de sorte que la tension utile se trouve de

$$220 - 17,6 = 202,4$$

Entrefer.	Courant.	Vitesse.	Pertes par frottement et hystérésis. watts	Pertes par courants de Foucault. watts
3 . . .	1,50	485	154	176
12 . . .	1,22	620	104	165
23 . . .	1,52	1007	123	211
31 . . .	1,82	1263	154	246
39 . . .	1,90	1460	165	254
44 . . .	2,19	1628	176	305
48 . . .	2,40	1800	189	339

» Comme conclusion de ces essais, nous pou-

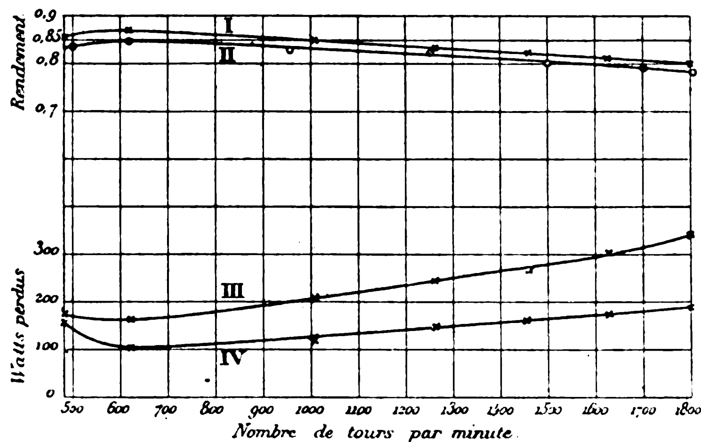


Fig. 1. — Moteur à vitesses variables Couffinhal et ses Fils. Essai d'un moteur 500-1800 tours, 220 volts, 28 ampères. I. Courbe de rendement à charge normale; II. Courbe de rendement à demi-charge; III. Courbe des pertes par frottement et hystérésis; IV. Courbe des pertes par courants de Foucault.

vons dire que le moteur à vitesse variable par pôles mobiles est, comme rendement et constitution électrique, en tous points comparable aux moteurs classiques, mais il présente de plus l'avantage de pouvoir donner des vitesses variant d'une façon continue et cela entre des limites très étendues.

» Dans certains cas particuliers, on a obtenu des écarts atteignants le rapport de 1 à 5, et cela pour des puissances de 25 chevaux; nous croyons donc que son emploi est un réel progrès dans la commande des machines-outils.

» J'ajouterai enfin que des études sont actuellement entreprises en vue de la traction électrique et que, jusqu'à présent, les essais font prévoir un résultat satisfaisant. »

A la suite de cette communication, M. Hillairet fait l'observation suivante :

« Le dispositif qui vient de nous être décrit a déjà été réalisé à différentes reprises depuis 18

Digitized by Google

ou 20 ans. Vers 1884, si je ne me trompe, il y eut un brevet de M. Chameroy concernant la variation du champ inducteur par variation de l'entrefer [1]; j'employai moi-même à la même époque un système de dérivation de flux ou shuntage magnétique appliqué aux pièces polaires de petits moteurs. Je rappellerai également les systèmes à coupure du circuit magnétique métallique ayant même objet [2].

» Tous ces dispositifs à réluctance variable ou à dérivation, séduisants en apparence, n'ont plus actuellement de raison d'être : ils sont coûteux et si les moteurs auxquels ils s'appliquent ne sont pas à portée de la main, la commande à distance des inducteurs mobiles devient inadmissible ; de plus le changement de signe du champ ne peut être obtenu par ces procédés (survolteurs et sous-volteurs).

» Pour obtenir la variation du champ inducteur, rien n'est plus simple que l'emploi du classique rhéostat d'excitation.

» On construit actuellement des induits dont les balais ont un fonctionnement satisfaisant jusqu'à l'extrême limite (courant maximum dans l'induit et champ nul; cas des survolteurs-sous-volteurs), et les rhéostats, convenablement étudiés, permettent de réaliser une continuité absolue dans la variation de l'excitation. »

L'arc à flamme et l'arc à vapeur de mercure, par E. Hospitalier.

Le but de cette communication n'est pas tant d'apporter des renseignements précis et complets sur de nouveaux illuminants que d'appeler l'attention des électriciens sur les voies nouvelles ouvertes aux chercheurs, et de montrer que les sentiers battus dans lesquels se poursuivent les recherches depuis l'avènement industriel de l'éclairage électrique peuvent être abandonnés sans regrets, car les domaines auxquels ils ont conduit, l'arc ordinaire et l'incandescence du charbon, semblent avoir produit aujourd'hui tous leurs fruits.

« *Arc à flamme.* — L'idée de réduire la consommation spécifique des foyers à arc en rendant l'arc lumineux, en le transformant en une flamme, en le rendant incandescent, n'est pas nouvelle, car dès 1878, Archereau, Carré et Gauduin avaient remarqué l'accroissement d'intensité lumineuse d'un arc dont les électrodes renferment, mélangés au charbon, des oxydes de chaux, de magnésie, etc. On y renonça bientôt, car la chute des oxydes sur le charbon inférieur donnait à la lumière une grande instabilité.

» M. Bremer a repris la question en 1898 : il présentait à l'Exposition de 1900 une lampe à quatre charbons rappelant la lampe Rapreff de 1879, et dans laquelle la flamme lumineuse de l'arc est projetée à la partie inférieure par un soufflage électromagnétique. Les quatre charbons sont disposés à la partie supérieure de la lampe, et les matières rendant la flamme lumineuse sont incorporées dans les charbons eux-mêmes.

» Dans la lampe à arc à flamme qui fonctionne sous vos yeux, et qui a été mise gracieusement à ma disposition par M. Charles Heller, les oxydes et les matières minérales sont ajoutés à la mèche.

» En étudiant à l'arcoscope la lumière produite par l'arc à flamme, on constate que la lumière n'émane plus à peu près exclusivement du charbon positif, mais que l'arc lui-même en fournit une partie importante, et que c'est à la flamme qu'est due surtout la coloration de la lumière, coloration que l'on peut obtenir blanche, jaune ou rouge à volonté par un choix convenable de matières minérales incorporées à la mèche.

» D'après les expériences faites par M. P. Janet au *Laboratoire central d'Électricité*, le flux lumineux puissancique d'une lampe à arc ordinaire et celui d'une lampe à arc Bremer absorbant la même puissance seraient respectivement de :

16,8 lumens par watt pour l'arc ordinaire (sans globe).
32,6 — — pour l'arc Bremer (sans globe).

» On peut donc dire que l'emploi de substances minérales dans l'arc double le flux lumineux produit avec une puissance donnée.

» Signalons enfin les nouvelles recherches de

(1) Voir *La Lumière Électrique*, t. XVI, p. 139-140 (numéro du 18 avril 1885): Machine Chameroy à inducteurs mobiles. Voir aussi le tome XV du même journal, p. 490 (numéro du 14 mars 1885) : Description de la machine Diehl à inducteurs mobiles ayant figuré à l'Exposition de Philadelphie 1883.

(2) *La Lumière Électrique*, t. XVI, p. 139-140, dispositif d'Edison (1881).

Digitized by Google

M. A. Blondel avec les charbons *trizones*, dont deux intérieurs minéralisés et qui permettent d'employer les lampes à arc ordinaires.

» Sans vouloir déflorer ici les résultats de ces recherches qui seront présentés à la fin de l'année à la Société, nous pouvons dire que ces charbons ont permis de réaliser des arcs de 3 ampères seulement produisant un flux lumineux puissancique de 45 lumens par watt, et des arcs de 9 ampères produisant 77 lumens par watt, soit plus du quadruple d'un arc ordinaire absorbant la même puissance électrique.

» On voit, par ces chiffres, que l'arc à flamme ou l'arc incandescent mérite une étude approfondie, et que son développement nous ménage des surprises intéressantes, de nature à favoriser l'électricité dans la lutte économique actuellement engagée entre les divers illuminants.

» *L'arc à vapeur de mercure.* — La lumière produite par un courant électrique traversant un gaz raréfié est connue depuis le tube classique de Geissler. On peut, comme l'a montré M. Tesla il y a une dizaine d'années, obtenir la luminosité ou la *luminescence* d'un semblable tube en le plaçant dans un champ électrostatique variable à une haute fréquence. Dès 1892, M. Arons avait montré que la vapeur de mercure traversée par un courant émet de la lumière, mais c'est aux recherches récentes de M. Cooper-Hewitt que l'on doit les premiers foyers lumineux à vapeur de mercure capables de réaliser un véritable éclairage, et d'émettre une intensité lumineuse qui peut atteindre, sous une réserve que nous formulerons tout à l'heure, plusieurs milliers de bougie.

» La lampe Cooper-Hewitt est la simplicité même. Elle est constituée par un tube de verre aux extrémités duquel sont placées les électrodes ; l'électrode négative est le mercure lui-même, l'électrode positive est, soit du mercure, soit une coupelle en fer. Le courant arrive à ces électrodes par des fils de platine soudés dans le verre. La pression dans le tube à froid est sensiblement nulle ; c'est celle de la tension de la vapeur de mercure. A chaud, cette pression est d'environ 2 mm de mercure. Les lampes fonctionnent sur une différence de potentiel de 110 volts. L'amorçage de la lampe exige une tension élevée, plusieurs milliers de volts, pendant un instant. On obtient cette tension en intercalant une bobine de self-induction dans le circuit de la lampe, en shuntant cette lampe et en rompant brusquement le shunt à l'aide d'un interrupteur à huile. L'extra-courant de rupture provoque l'allumage et l'arc ainsi amorcé se maintient à travers la bobine de sef-induction qui joue le rôle d'amortisseur des variations éventuelles. Sur une différence de potentiel de 110 volts, l'arc à vapeur de mercure en absorbe environ 80.

» Comme nous ne disposons pas ici de courant continu et que, dans nos premiers essais sur une lampe à vapeur de mercure, nous n'avons pu obtenir l'amorçage par le procédé indiqué, nous illuminons le tube par un courant alternatif de haute fréquence obtenu à l'aide d'appareils obligeamment mis à notre disposition par M. Gaiffe (*expérience*).

» Le tube qui fonctionne sous vos yeux vous montre le tube Cooper-Hewitt fonctionnant à la fois comme foyer lumineux et comme interrupteur à grande fréquence, remplaçant l'éclateur ordinaire avec avantage au point de vue du bruit, sinon des résultats. De meilleures proportions entre les organes permettront d'augmenter l'intensité lumineuse et l'efficacité de l'interrupteur.

» D'après l'inventeur, il serait possible de réaliser des foyers lumineux à vapeur de mercure dont l'intensité lumineuse varierait entre 150 et 3 000 bougies et la consommation spécifique entre 0,5 et 0,3 watt par bougie.

» Cette appréciation photométrique appelle quelques réserves. En effet, la lumière fournie par la lampe à vapeur de mercure est absolument dénuée de radiations rouges, à ce point que les lèvres paraissent pourpre noir, et que les modifications apportées aux couleurs par cette lumière incomplète donnent aux visages et aux objets un aspect macabre et fantastique.

» Dans ces conditions, la comparaison photométrique de deux foyers lumineux nous paraît devoir dépendre dans une large mesure de la nature des radiations dont chacun d'eux est composé.

» En poussant les choses à l'extrême, deux lumières monochromatiques très différentes ne pourraient s'équilibrer photométriquement, et la mesure conduirait à une indétermination. La comparaison ne peut s'établir que sur une sorte de moyenne des radiations communes et les rap-

Digitized by Google

ports, dans les cas particuliers, doivent être très différents suivant la nature de l'étalon photométrique employé.

» La différence d'éclat intrinsèque des foyers lumineux ordinaires et des lampes à vapeur de mercure doit aussi contribuer à rendre les comparaisons difficiles, la photométrie supposant que les foyers lumineux sont *ponctuels*, ce qui est loin d'être le cas avec les tubes à vapeur de mercure. Les résultats annoncés relativement à la faible consommation spécifique des lampes à vapeur de mercure ne nous semblent devoir être acceptés que *cum grano salis*.

» La lumière produite par la lampe à vapeur de mercure, ayant un faible éclat intrinsèque et se trouvant dépouillée de ses radiations rouges, ne fatigue pas la vue. On peut d'ailleurs lui restituer les radiations rouges qui lui font défaut à l'aide d'écrans fluorescents placés dans son voisinage, ou en constituant la résistance de ballast par des lampes à incandescence riches en radiations rouges.

» La lumière étant riche en rayons actiniques, est favorable à la reproduction des épreuves photographiques par éclairage artificiel. Elle conviendra également pour l'éclairage des gares à marchandises, des tunnels, des salles d'empaquetage et d'expédition, partout, en un mot, où l'absence des radiations rouges et l'anamorphose chromatique qui en est la conséquence ne présenteront pas d'inconvénients.

» Au point de vue de la lecture, la lampe Cooper-Hewitt donne une lumière très agréable et qui rend cette lecture très facile.

» La lampe à vapeur de mercure semble donc appelée, comme l'arc à flamme, à développer les applications de l'éclairage électrique et nous devons féliciter le véritable pionnier, M. Cooper-Hewitt, de ses recherches dont il nous fera connaître bientôt ici même, par l'organe autorisé de M. Maurice Leblanc, les plus récents perfectionnements. »

Discussion de la communication précédente, par **Tripier, Claude, Lauriol, Aliamet, de Valbreuze**.

M. H. Tripier. « Je désire annoncer que l'arc à flamme produit par les charbons trizones sera présenté à la Société avant la fin de l'année courante, par une communication très détaillée que prépare en ce moment M. André Blondel, l'inventeur de cet arc, en collaboration avec M. Dobkevitch.

» Mais, dès à présent, au moyen des documents déjà obtenus sur cette question par M. Blondel, il est possible, pour préciser ce qui vient d'être dit par M. Hospitalier relativement à la formation de l'arc tenant en suspension des substances minérales, de dire, en particulier d'après les relevés oscillographiques de l'intensité du courant dans l'arc sous tension alternative, qu'au point de vue de la conductibilité électrique présentée par l'arc à la longueur de cet arc près, les vapeurs minérales éclairantes se comportent qualitativement de la même manière que les vapeurs de carbone.

» Je signalerai, d'autre part, que, pour l'étude de la constitution de l'arc, aussi bien dans le cas où la tension est continue que dans celui où elle est alternative, M. Blondel se sert du procédé suivant, qui est très précieux en raison à la fois de son extrême simplicité et de la netteté des résultats qu'il donne :

On projette une image agrandie de l'arc sur le fond d'une chambre noire, et l'on interpose, sur le trajet des rayons émis, soit un verre bleu, soit un verre jaune, suivant qu'on désire obtenir la projection de l'arc produit par la vapeur de carbone, ou celle de l'arc produit par les vapeurs minérales ; on peut déduire des projections ainsi obtenues la façon dont ces deux arcs se comportent l'un vis-à-vis de l'autre, et ces projections montrent comment est distribué l'éclat dans l'ensemble formé par l'arc complet et les deux pointes entre lesquelles il jaillit. Pour avoir une inscription immédiate de ces projections, il suffit de les produire sur une plaque sensible [1].

» Relativement aux rendements lumineux que cet arc permet d'atteindre, je rappelle que, ainsi que cela a été exposé à la Société française de Physique aux séances du mois d'avril dernier, par la Société française d'incandescence par le gaz (système Auer), les consommations spécifiques obtenues avec les courants continus sont les suivantes :

---

[1] Les relevés oscillographiques ainsi que les relevés photographiques sont montrés par M. Tripier; ils seront reproduits dans la série d'articles que publie M. Blondel sur les Oscillographes.

Digitized by Google

Diamètre.		Régime.		Watt par bougie décimale hémisphérique moyenne.
Pôle +	Pôle —	Ampères.	Volts.	
mm	mm			
9	8	3,1	45	0,14
10	8	5	45	0,095
14	10	9,1	43	0,08

» Au point de vue de la teinte, il est très facile, par l'addition de substances appropriées, de rougir ou de verdir la lumière; mais le mieux est évidemment, dans la presque totalité des cas, d'éclairer avec une lumière dont le spectre présentera un maximum d'éclat dans le jaune, puisque c'est pour cette couleur que l'acuité visuelle est maximum, ce qui ne doit pas étonner, notre œil étant fait pour la lumière solaire, dont le spectre a son maximum d'éclat dans le voisinage du jaune.

» Je tiens encore à signaler qu'on ne peut faire une comparaison exacte entre un arc à flamme et un arc ordinaire en se bornant à la comparaison des intensités lumineuses émises par les deux sources dans une même direction, comparaison qui correspond à celle des éclairements des ombres produites sur le sol par une canne placée entre ces deux sources, celles-ci étant à la même hauteur, car la répartition du flux total émis n'est pas du tout la même dans les deux cas; avec l'arc à flamme vertical, l'intensité lumineuse maximum est beaucoup plus voisine de l'horizon qu'avec l'arc ordinaire, ce qui est très favorable pour l'éclairage public. »

M. Georges Claude. — « M. Hospitalier vient de nous montrer qu'en entrant dans des voies nouvelles, dont l'arc à flamme et l'arc au mercure paraissent constituer d'intéressantes amorces, l'industrie de l'éclairage électrique peut espérer de nouveaux succès dans sa lutte contre les autres sources de lumière. Notre président aurait pu ajouter que dans l'une au moins de ces directions, ces succès ne se feront vraisemblablement pas trop longtemps attendre, puisque cette importante question de l'arc à flamme a eu l'heureuse fortune de retenir l'ingéniosité et la sagacité d'un de nos collègues les plus distingués.

» M. Hospitalier me permettra cependant d'attirer son attention, et la vôtre, Messieurs, sur le fait que ces ressources nouvelles ne seront certes pas superflues pour la cause de l'éclairage électrique : jusqu'à ce jour, en effet, son concurrent le plus dangereux, l'éclairage au gaz, s'est trouvé, pour soutenir la lutte, dans des conditions fort mauvaises, que le progrès industriel va à très bref délai singulièrement améliorer. Pour produire l'incandescence de leurs manchons, les gaziers, bon gré mal gré, ont dû recourir jusqu'ici à la combustion du gaz avec l'air ordinaire et se contenter de la température passablement médiocre ainsi réalisée.

» Or, j'ai eu l'occasion de vous faire observer que, par suite de l'entrée en scène des procédés de liquéfaction de l'air, aujourd'hui absolument au point, l'*oxygène pur*, ce comburant idéal, va désormais être obtenu *pour ainsi dire gratuitement*. L'une des premières préoccupations des gaziers sera évidemment d'élever considérablement à son aide les températures atteintes dans la combustion du gaz; et comme vous savez avec quelle énorme rapidité le rayonnement lumineux des sources à incandescence augmente avec la température, vous pouvez aisément concevoir quelle transformation radicale il est possible d'espérer.

» J'ai voulu contrôler par l'expérience ces prévisions et voir si elles ne seraient pas faussées dans une forte mesure par les phénomènes de dissociation ou par l'inaptitude des manchons actuels à supporter sans faiblir le choc de ces énormes températures.

» J'ai donc disposé un bec Auer de façon fort primitive de manière à pouvoir insuffler de l'oxygène dans la flamme; j'ai pu constater que le manchon prenait un éclat éblouissant, comparable seulement à celui de l'arc électrique. Moyennant une insufflation d'oxygène égale à la moitié du débit du gaz, la puissance lumineuse, dans cet appareil si imparfait, est multipliée par *six ou sept* par rapport à celle d'un bon bec ordinaire d'égale consommation : quant au manchon il paraît supporter avec une parfaite résignation ces températures pour lesquelles il était si peu préparé.

» On dira que l'inconvénient d'une double canalisation est de nature à empêcher le développement de ce mode d'éclairage : on me permettra d'en douter; on passe facilement par-dessus des obstacles de cet ordre et même par dessus de plus sérieux, quand ils ont pour effet l'abaissement au 1/3 ou au 1/4 d'une dépense journalière importante. On objectera aussi que la lumière électrique, en raison de sa commodité, sera toujours préférée dans les appartements luxueux,

Digitized by Google

mais on oublie que certains allumeurs automatiques, quelquefois empruntés à l'Electricité ellemême, fonctionnent assez bien aujourd'hui pour rendre presque illusoire encore ce dernier avantage. En résumé, la tactique de l'autruche est mauvaise tactique et il est préférable que les Électriciens soient d'avance préparés à ces conséquences inévitables du progrès : leur science est assez riche en ressources pour leur permettre de fructueuses revanehes.

» Et, en ce qui me concerne, s'il me faut prévoir que mes travaux sur l'obtention de l'oxygène pourront favoriser en quelques cas, de désagréables concurrences pour une industrie qui a tant de titres à ma reconnaissance, je suis heureux que d'agréables compensations soient à prévoir, d'ores et déjà, sur une foule de points qui réclameront d'une manière impérieuse la collaboration de l'Electricité : j'en donnais à la précédente séance un exemple qui sera loin d'être isolé. »

M. Lauriol signale les essais du Théâtre-Français, sur le réseau municipal, à l'aide d'arcs à flamme.

M. Aliamet. — « La consommation spécifique des lampes Hewit est remarquablement faible, et c'est un résultat très encourageant. M. Hospitalier a-t-il pu se procurer des renseignements sur la puissance lumineuse de ces lampes ou sur l'ordre de grandeur de cette puissance lumineuse? Consommation spécifique et puissance lumineuse sont, en effet, deux éléments nécessaires à connaître pour apprécier le nouveau système de lampe, en dehors de la qualité de la lumière obtenue, qualité dont l'amélioration fait l'objet de recherches actuellement en cours. »

M. de Valbreuze. — « Monsieur le Président dit n'avoir pas réussi à amorcer les arcs à mercure sur courant continu. J'ai été plus heureux et suis arrivé à les amorcer à coup sûr avec le

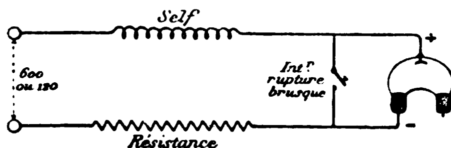


Fig. 1.

dispositif d'Hewitt (fig. 1). Ce dispositif consiste simplement à mettre en série, avec le tube, une bobine de self-induction et à le shunter par un interrupteur à rupture très brusque dans l'huile. En fermant, puis ouvrant brusquement l'interrupteur, on donne naissance à une force électromotrice induite élevée qui produit dans le tube une étincelle; le courant passe alors par le chemin ainsi frayé, et l'arc se maintient stable : s'il tendait à se couper, la force électromotrice induite par ce fait dans la self le réamorcerait.

» Ayant à ma disposition du courant continu à 600 ou à 120 volts, j'ai mis en série une résistance variant de 100 à 800 ohms dans le premier cas, et de 0 à 36 ohms dans le second cas.

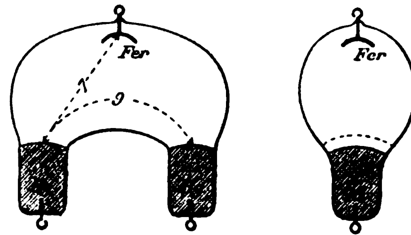


Fig. 2 et 3.

Les tubes dont je me sers habituellement ont la forme d'un U renflé à branches courtes : chaque branche contient du mercure et le sommet de l'U porte une coupelle en fer. On peut ainsi étudier l'arc entre fer et mercure ou entre mercure et mercure. La distance entre électrodes est d'environ 7 cm dans le premier cas et 9 cm dans le second (forme I, fig. 2 et 3).

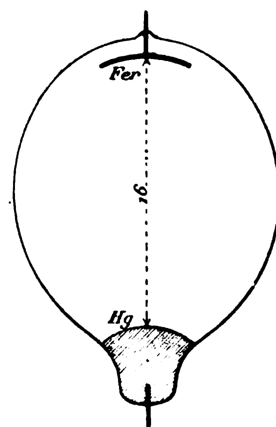


Fig. 4.

» J'ai fait faire aussi un tube en forme de poire avec une coupelle en fer et un godet à

Digitized by Google

mercure distants d'environ 16 cm (fig. 4). Le degré de vide dans ces tubes est celui des lampes à incandescence ordinaires. Voici les résultats auxquels j'ai été conduit :

» *Courant dans le tube.* — J'ai fait varier l'intensité dans l'arc entre 5 et 0,5 ampère. L'arc

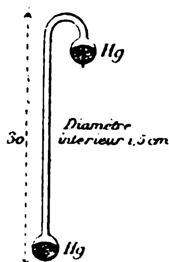


Fig. 5.

ne subit aucune modification dans cet intervalle et se coupe dès que l'on descend au-dessous de 0,5 ampère.

» *Différence de potentiel aux bornes.* — La différence de potentiel aux bornes de l'arc oscille entre 82 et 87 volts pour les tubes en U (forme I, fig. 2 et 3), que l'arc soit établi entre fer et mercure ou entre mercure et mercure. Elle oscille entre 120 et 135 volts pour le tube de la forme II, fig. 4. La perte de charge semble diminuer un peu quand le courant augmente : cela tient probablement à la plus grande quantité de vapeurs de mercure produites dans ce cas. Ces chiffres sont bien loin du chiffre de 14 volts indiqué par M. Hewitt pour la chute de tension dans son convertisseur statique, et 80 volts pour la chute de tension dans sa lampe constituée par un tube de 1,20 m de long sur 2,5 cm de diamètre intérieur. Il est à peu près certain que le degré de vide influe considérablement sur la valeur de la chute de tension dans les arcs à mercure. En effet, dans mon tube II, qui occasionne la plus forte chute, le vide est plus parfait que dans le tube I par suite de l'ébullition à laquelle on a porté le mercure pendant l'opération. En outre, un tube dans lequel j'avais fait faire le vide de Crookes (forme III, fig. 5) n'a jamais pu tenir amorcé sur courant continu à la différence de potentiel dont je dispose.

» *Amorçage.* — J'ai constaté que l'arc entre mercure et mercure est un peu plus difficile à amorcer que l'arc entre fer et mercure ; il est nécessaire d'augmenter la self ou l'intensité dans le court-circuit d'amorançge. J'ai vu aussi qu'il est impossible de maintenir l'arc amorcé en mettant le pôle — au fer et le pôle + au mercure.

» Etant donnée la forte chute de tension dans mes tubes, je n'ai pu porter l'intensité au delà de 5 ampères, à cause du grand échauffement qui en résulte et fait casser le tube. Je ferai remarquer, pour répondre à la question de M. Alliamet, que cet échauffement considérable limite la puissance électrique qu'on peut convertir en lumière. D'ailleurs, il m'a toujours semblé que l'arc à mercure éclaire beaucoup moins qu'on ne le dit quand il fonctionne sur courant continu.

» A titre de curiosité, j'ajoute que j'ai amorcé et fait fonctionner, sur courant continu, 120 volts, un petit tube Geissler : le courant était d'environ 1 ampère et les électrodes ont été volatilisées en une trentaine de secondes.

» Si l'arc au mercure sur courant continu pouvait intéresser quelque membre de la Société, je me ferais un très grand plaisir de le faire fonctionner devant lui. »

Le Gérant : C NAUD.

Digitized by Google

Tome XXXVII | Samedi 17 Octobre 1903. | 10e Année. — N° 42

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SOUDEUSES ÉLECTRIQUES THOMSON-HOUSTON

La soudure par l'électricité, encore assez peu utilisée en Europe, est aujourd'hui très répandue dans les ateliers américains, particulièrement pour la fabrication de nombreuses pièces de bicyclettes et d'automobiles.

Le dernier numéro du *Bulletin de la Société française Thomson-Houston*, consacré à la description des appareils de soudure construits par cette société et à l'indication des applications qui en ont déjà été faites, nous fournit sur ce sujet des renseignements que nos lecteurs accueilleront sans aucun doute avec intérêt, si nous en jugeons d'après le nombre des demandes relatives à la soudure électrique qui nous ont été adressées.

Dans ces soudeuses, l'élévation de température nécessaire à la soudure est produite par le passage d'un courant plus ou moins intense dans les pièces métalliques, fortement serrées l'une contre l'autre, qu'il s'agit de souder. Dans ces conditions, la chaleur se développe d'abord à la partie centrale des pièces à souder et par suite la soudure de la partie intérieure est au moins aussi bien faite que celle de la partie extérieure, résultat que l'on n'obtient pas aussi sûrement lorsqu'on fait usage de l'arc électrique pour le chauffage des pièces.

Le courant alternatif à faible tension est fourni par un transformateur dont le circuit primaire, à fil plus fin que le fil du circuit secondaire, est branché sur la canalisation d'éclairage ou de force motrice de l'atelier. Des bobines de réaction ou des rhéostats permettent de faire varier dans de larges limites le débit du transformateur.

Généralement le transformateur est logé dans le bâti de la soudeuse. Si le courant

Digitized by Google

secondaire demandé au transformateur est de grande intensité, une circulation d'eau évite tout échauffement exagéré.

Sur la table de la soudeuse sont disposées les pinces, reliées aux bornes secondaires du transformateur, qui servent à maintenir solidement les pièces à souder. Une commande mécanique, hydraulique ou autre permet de presser les deux pièces l'une contre l'autre quand la température est devenue suffisamment élevée.

Dans les soudeuses de petites dimensions, la pression des pièces à souder est produite

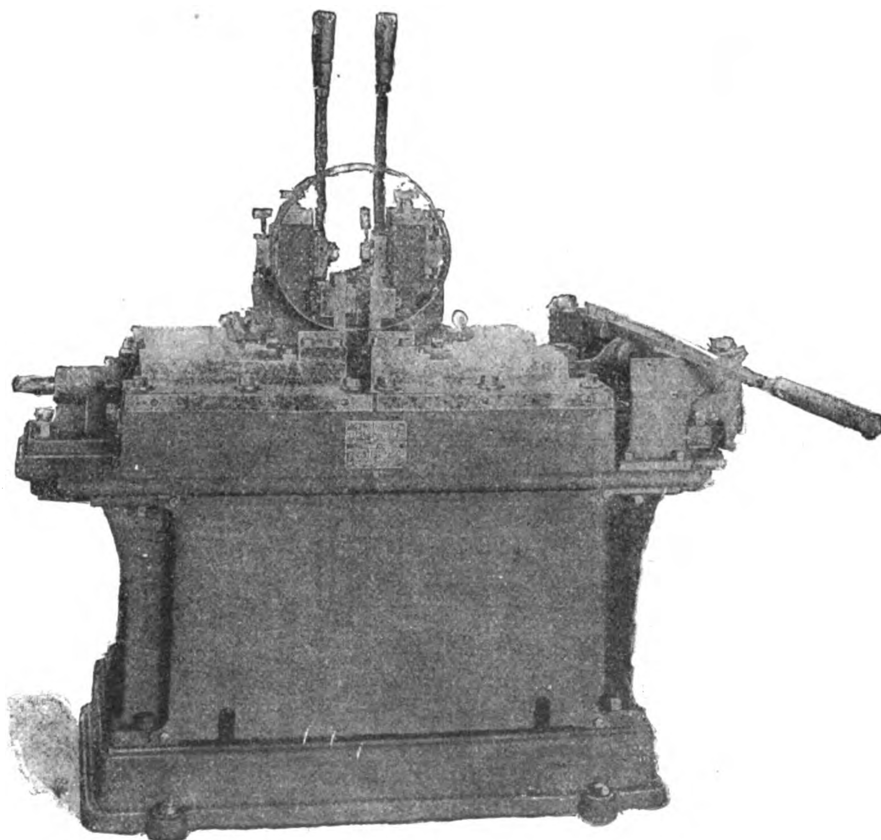


Fig. 1. — Machine à souder, type 20-A.

automatiquement ; en outre le courant est interrompu automatiquement au moyen d'une sorte d'interrupteur à maximum dès que la soudure est faite.

La figure 1 représente une soudeuse de 20 kilowatts spécialement étudiée pour souder des cercles et des bandes de fer ; la section des pièces que l'on peut souder avec cet appareil atteint 740 mm² pour le fer et 240 mm² pour le cuivre.

En figure 2 est représentée une soudeuse de 2 kilowatts entièrement automatique : il est seulement nécessaire de mettre en place et d'enlever les pièces à souder hors des pinces ; en figure 3 est montré l'interrupteur de courant automatique. Ce modèle de soudeuse est principalement employé pour faire des soudures de fil en forme de cercle. En figure 4 est représenté un modèle encore plus petit que le précédent : il dépense au maximum 1 kilowatt. La figure 5 montre une pince pour la mise en place et la soudure de tubes.

Digitized by Google

Le tableau I donne les principaux types courants des machines à souder ; le tableau II

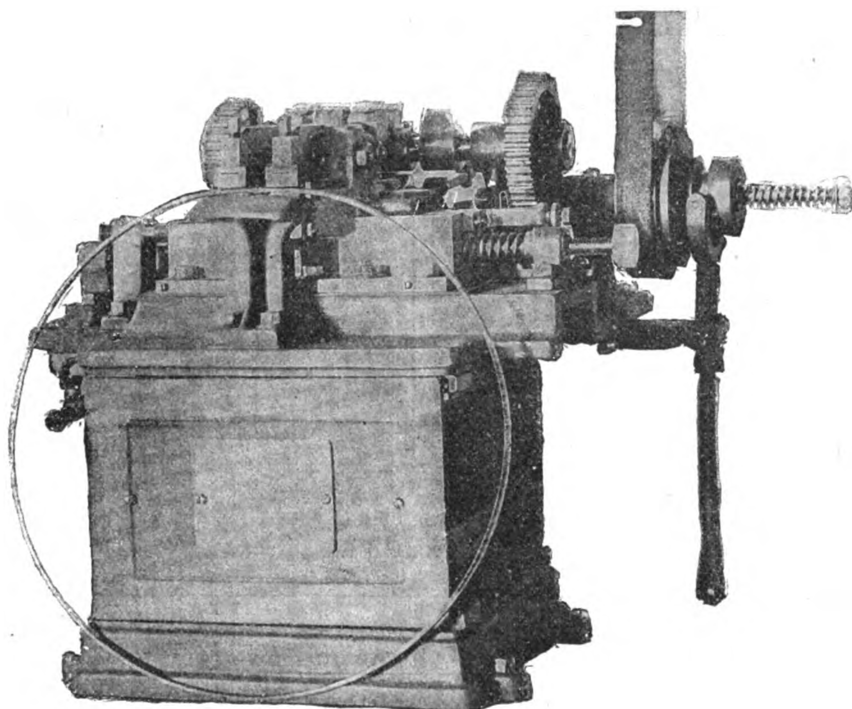


Fig. 2. — Machine à souder type 2-A, avec commande mécanique.
Cette machine fonctionne d'une manière absolument automatique ; il est seulement nécessaire de mettre en place et d'enlever les pièces à souder hors des pinces. Elle est principalement employée pour faire des soudures de fil en forme de cercle.

indique les temps et puissances nécessaires pour souder des pièces de fer ou de cuivre de sections diverses ; enfin le tableau III fournit les mêmes données pour la soudure des tubes et barres de fer ou d'acier.

TABLEAU I.

TYPE	POIDS EN KG	ENCOMBREMENT		WATTS MAX. employés par la machine	SECTION MAX. EN MM²		PUISSANCE en chevaux nécessaire à la dynamo
		Longueur mm	Largeur mm		Fer	Cuivre	
1A	57	330	304	1 000	30	—	2
2A*	68	380	304	2 000	60	—	4
2AA	63	330	355	2 000	—	12	4
5A	240	685	381	5 000	180	—	9
7A*	365	711	457	7 000	250	—	12
10A	410	812	508	10 000	360	120	17
20A	1 000	1 371	762	20 000	740	240	35
20A	1 100	1 778	762	20 000	740	240	35
40A	3 200	2 286	915	40 000	1 800	450	80

* Les machines type 2 A et type 7-A sont entièrement automatiques : le courant est donc coupé automatiquement.

Digitized by Google

TABLEAU II.

FER ET ACIER			CUIVRE		
Section en mm²	Temps en secondes	Puissance en chevaux nécessaire à la dynamo	Section en mm²	Temps en secondes	Puissance en chevaux nécessaire à la dynamo
250	33	14,4	62	8	10
500	45	28	125	11	23,4
750	55	39,4	187	13	31,8
1 000	65	48,6	250	16	42
1 250	70	57	312	18	51,9
1 500	78	65,4	375	21	61,2
1 750	85	73,7	440	22	72,9
2 000	90	83,8	500	23	82,1

TABLEAU III.

	TUBES DE FER EXTRA-FORT								BARRES RONDES DE FER OU D'ACIER				
Diam. int. en mm. . .	13	19	25	32	38	52	65	76					
Diam. en mm.									6,2	8	13	16	19
Section en mm². . . .	150	200	300	480	550	825	1125	1500	30	50	132	200	285
Puissance à la dynamo en chevaux.	8,9	10,5	16,4	22	32,3	42	63,7	96,2	2	4,2	6,5	9	13
Temps en secondes . .	33	40	47	53	70	84	93	106	10	15	20	25	30

Les temps indiqués dans les deux derniers tableaux ne sont nécessairement qu'approximatifs ; ils dépendent évidemment, ainsi d'ailleurs que la quantité d'énergie nécessaire à chaque opération, de l'habileté de l'ouvrier et de la nature du travail. Ainsi lorsqu'il s'agit de souder des pièces assez lourdes qu'il est indispensable de fixer avec soin dans les pinces, il n'est guère possible de faire plus de 300 soudures par journée de dix heures ; avec les machines du type entièrement automatique on peut arriver à faire jusqu'à 8 000 soudures de petites pièces dans le même laps de temps.

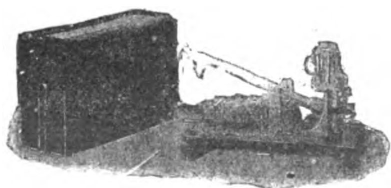


Fig. 3. — Interrupteur de courant automatique.

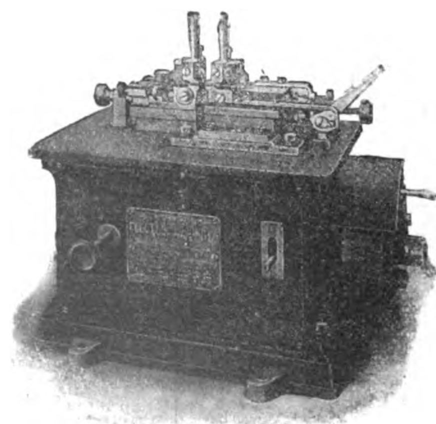


Fig. 4. — Machine à souder type 1-A, pour la soudure des petits fils de cuivre.

Les figures 6 à 13 donnent quelques exemples des travaux que l'on peut exécuter avec les soudeuses Thomson-Houston.

Digitized by Google

Quant aux usages auxquels sont dès maintenant appliquées ces soudures, en voici une liste bien incomplète :

Carrosserie. — Cercles de roues, ronds, demi-ronds, plats, ovales, essieux, moyeux, rais

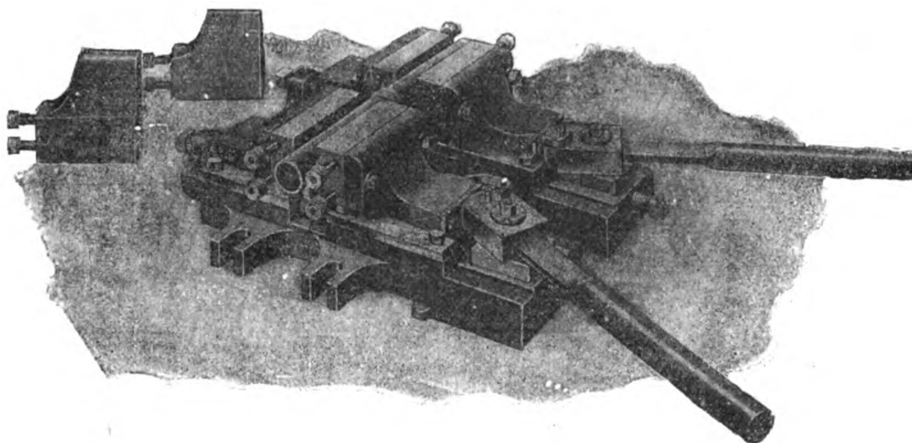


Fig. 5. — Pince pour la mise en place et la soudure de tubes.

et cercles de moyeu, glissières, marchepieds, fers ronds, équerres, fils d'acier pour jantes en caoutchouc, jantes creuses pour bandages en caoutchouc, moyeux et rais pour roues de

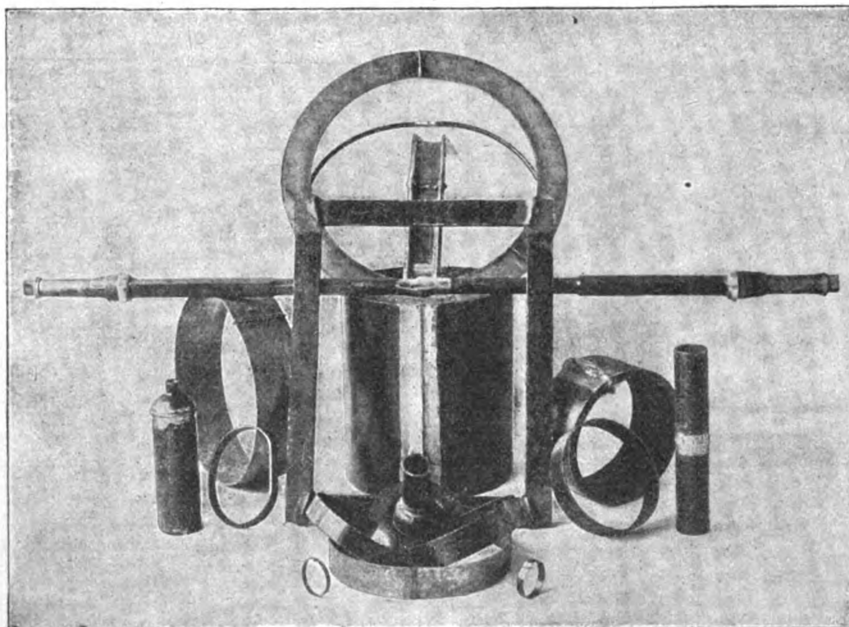


Fig. 6. — Pièces de fer et d'acier soudées électriquement.

machines agricoles, carcasse de voitures, carcasses de ressorts, et en général, toute la quincaillerie pour carrosserie.

Fabrication de bicyclettes. — Guidons, supports de manivelles, bandages, pédales, tiges de selle, équerres, fourches, arrière-fourches, carcasses, tubes formés de feuilles de tôle

Digitized by Google

soudées longitudinalement, soudure des tubes et des chaînes de transmissions, branches

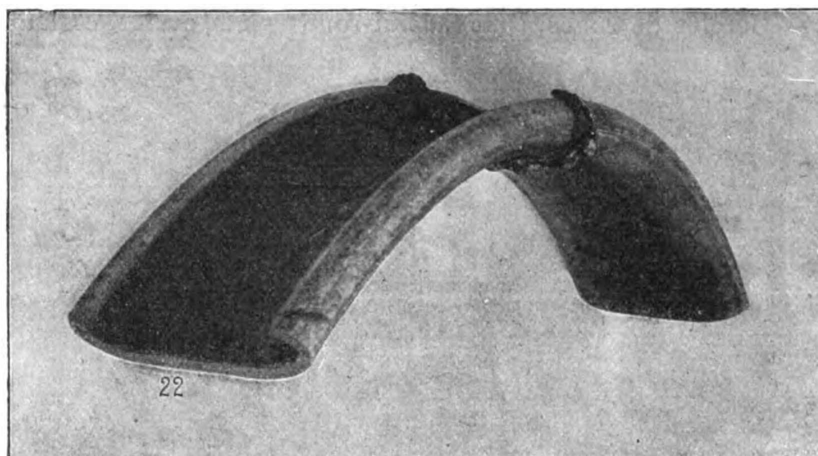
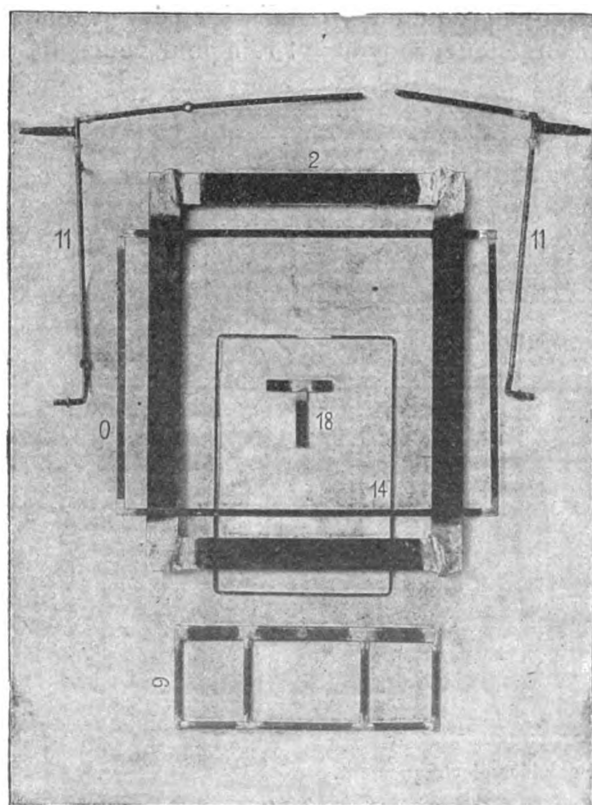


Fig. 7. — Jante soudée pour voiture automobile.

de fourches, supports de garde-boue, pièces de freins, dispositifs de réglage de la chaîne.

Outils. — Mèches à percer, tarauds, haches, hachettes, baguettes pour métiers, scies à bandes, réparation de dents de scies, réparation de dents d'engrenages, réparation de



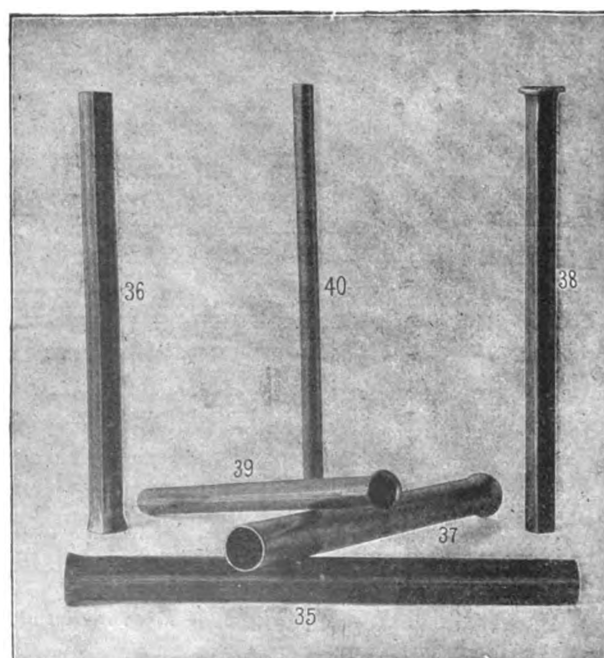


Fig. 8. — Échantillons des produits de soudure électrique. Fig. 9. — Tubes soudés longitudinalement.

O. Carcasse en acier pour fenêtres de wagon, soudée aux angles. — 2, Carcasse en fer. — 9, Carcasse du marchepied 11, Pièce de main-courante. — 14, Carcasse d'acier pour valise. — 18, Pièce en T.

lames d'outils à nettoyer les tubes, arbres à came, couteaux à main, couteaux, pelles, four-

Digitized by Google

chettes, châssis de presses à imprimer, rouleau à encrer pour machines à imprimer, équerres de charpentiers.

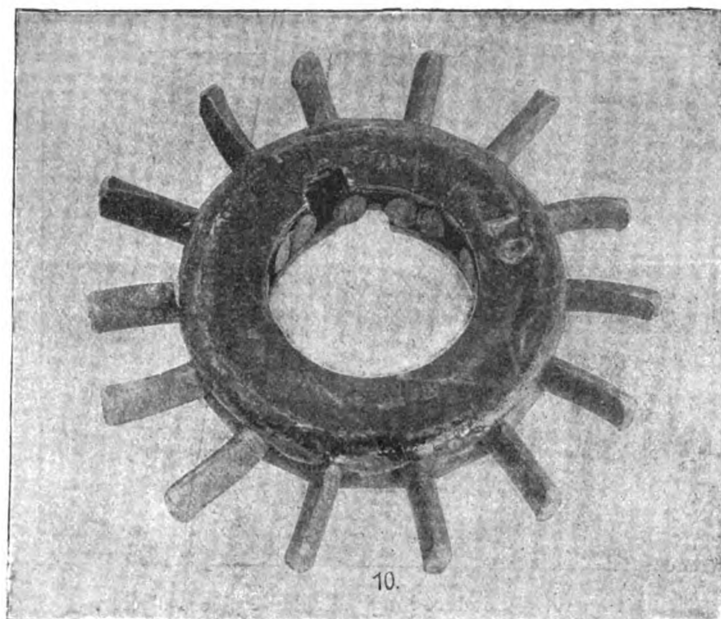


Fig. 10. — Rais soudés dans le moyeu d'une roue.

Tréfilerie. — Soudure bout à bout de fils de fer, d'acier, de cuivre, de fils ronces,

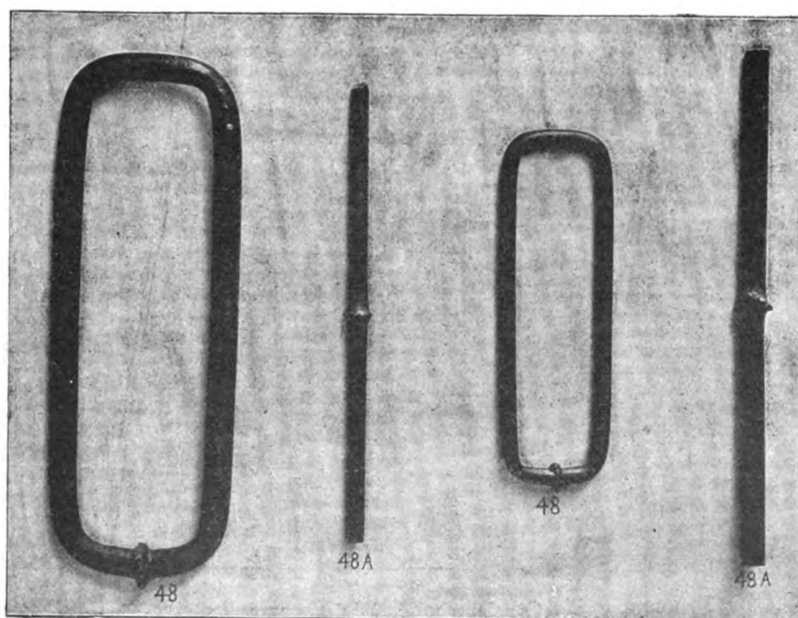


Fig. 11. — Anneaux de cuivre soudés.

cercles en fer et en acier pour tonneaux, baquets, sceaux, etc., etc., soudure bout à bout des fils, câbles métalliques.

Digitized by Google

Chaudronnerie. — Fabrication des tubes de fer et d'acier pour serpentins de machines à froid, de machines à chauffer, d'alambics, voies de tramways, croisements, supports de rails, éclissage des rails et soudure des éclisses électriques sur les rails.

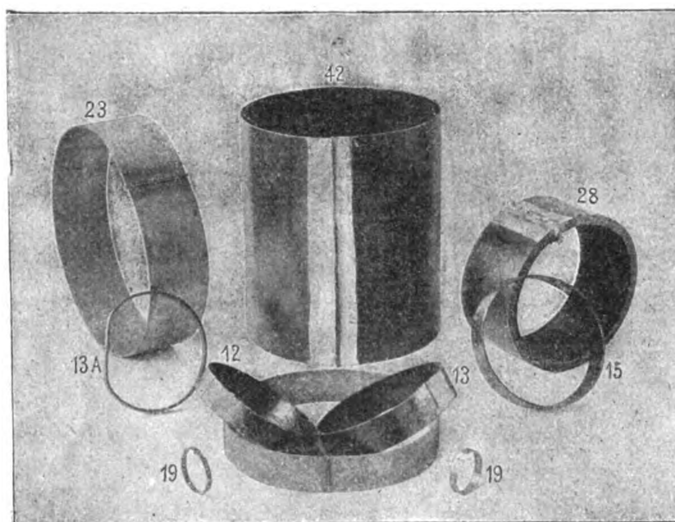


Fig. 12. — Soudure longitudinale de pièces d'acier.

Usages divers. — Fabrication d'anneaux plats carrés et ronds, de section et de diamètre

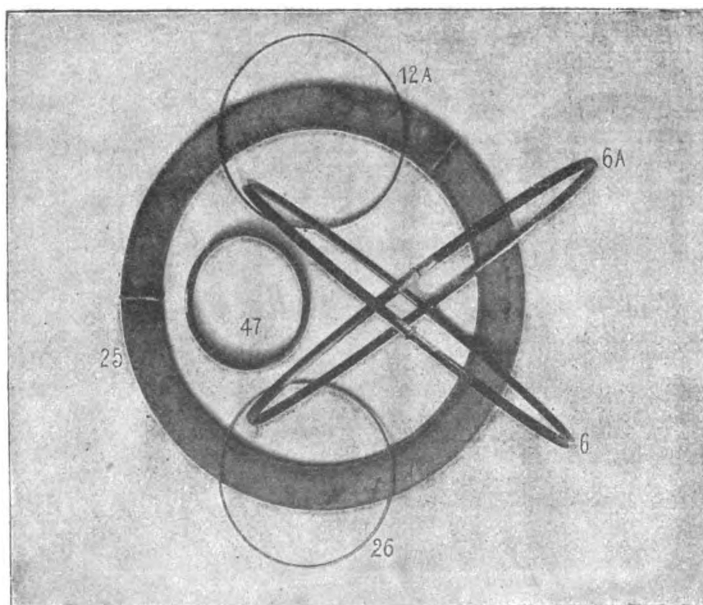


Fig. 13. — Cercles soudés à la machine électrique.
12-A. Cercle pour camion. — 25. Bandage pour automobile. — 6, 6-A et 26. Jantes de roue pour voiture d'enfant. 47. Petite jante de roue.

différents, en cuivre, fer et acier, soudure d'équerres, de boucles, de pièces de machines à écrire et de pièces de forme régulière en fer, acier et cuivre, matrices pour machines

Digitized by Google

à écrire et à composer, projectiles, paratonnerres, treillages, fabrication de haies métalliques, bandes en tôle pour câbles électriques, tiges de parapluies, soudures d'arbres de transmission, soudure d'acier ordinaire sur acier à outils, grilles en fer forgé, etc., etc.

On voit par cet aperçu combien nombreuses sont déjà les applications de la soudure électrique aux Etats-Unis ; il est donc à prévoir qu'elles ne tarderont pas à s'acclimater dans le vieux continent.

J. Reyval.

RELATIONS ENTRE LA CONSTITUTION DES FERS CARBURÉS ET LEURS PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES (1)

1. La complexité des propriétés magnétiques des fers carburés est une conséquence naturelle de la complexité de leur constitution ; il serait bien difficile actuellement de préciser cette relation ; je chercherai seulement ici à indiquer les hypothèses les plus probables, qui peuvent servir en provoquant des travaux précis ou en montrant comment on peut espérer améliorer les propriétés magnétiques des fers carburés.

2. Variation de l'intensité d'aimantation en fonction du champ magnétisant. — Nous supposons éliminées toutes les difficultés provenant de la forme extérieure du noyau magnétique, c'est-à-dire qu'il s'agira pour nous de noyaux formant circuit fermé, ou encore de barreaux très allongés, soumis à un champ magnétique uniforme et qui, s'ils étaient homogènes, auraient une aimantation uniforme. En réalité, les substances magnétiques ne sont pas homogènes; elles sont constituées, dans le cas général, par des constituants différents juxtaposés; si l'un de ces constituants formait toute la masse, avec une répartition homogène, l'intensité d'aimantation aurait pour une valeur H du champ une certaine valeur I_1 (abstraction faite, pour l'instant, de l'hystérésis); les autres constituants donneraient dans les mêmes conditions des intensités d'aimantation I_2, I_3, etc. ; or quand le même champ H agit sur la substance hétérogène formée de ces différents constituants, l'intensité d'aimantation apparente (celle que l'on observe) n'a aucune relation simple avec I_1, I_2, I_3 ; elle n'a pas la valeur qu'on pourrait calculer à partir de I_1, I_2, I_3 en admettant que chaque constituant intervient par sa proportion dans la substance. En effet, le champ magnétique n'aurait en chaque point de la masse la valeur H que si la masse était homogène ; la répartition du champ magnétisant à l'intérieur dépend de la répartition des constituants. Supposons par exemple un grain d'un constituant très magnétique, entouré par une substance peu magnétique qui le sépare d'autres grains du premier constituant ; si la substance intermédiaire a une épaisseur notable, sa résistance au passage des lignes de force, provenant de la faiblesse relative de ses propriétés magnétiques, fera que le grain sera dans un champ magnétique moins intense que s'il était continué de toutes parts par le constituant qui le forme. En d'autres termes, ce grain isolé dans une substance peu magnétique se crée un champ démagnétisant d'autant plus grand que le réseau qui l'entoure est plus épais. Ce serait l'inverse si on considérait un grain peu magnétique entouré d'un constituant très magnétique.

(1) V. deux articles précédents : Constitution des fers carburés, *Écl. Élec.*, t. XXXVI, p. 441 et Progrès récents dans l'étude du magnétisme, *Écl. Élec.*, t. XXXVII, p. 5 et 41.

***

Digitized by Google

Ainsi, le champ magnétique réel auquel sont soumis les différents grains d'un même constituant varie aux différents points de la masse, et chaque constituant n'intervient (dans l'effet produit par un courant donné passant dans la bobine magnétisante) que par une moyenne mal définie.

3. Hystérésis. — Mais la structure intervient encore autrement, en modifiant l'hystérésis. L'orientation des aimants particulaires sous l'action du champ, qui constitue, semble-t-il, l'aimantation, est gênée par les liaisons moléculaires ordinaires et par les liaisons magnétiques ; elle subit ainsi un retard à champ croissant ou à champ décroissant, d'où l'hystérésis magnétique. Ces phénomènes peuvent se produire dans le fer pur, et l'expérience montre que les fers les plus purs présentent une hystérésis très nette ; mais ils sont certainement modifiés par la structure cellulaire des fers carburés ; les aimants particulaires qui sont à l'intérieur d'un grain de ferrite par exemple sont soumis de toutes parts à des actions de même nature ; ceux qui sont près de la paroi, formée d'un constituant peu magnétique, subissent au contraire des actions de natures différentes dans les différentes directions ; ces parois sont plus dures que la ferrite ; on en peut conclure que les mouvements des particules de ferrite seront plus difficiles à la surface des grains qu'à l'intérieur, c'est-à-dire que l'hystérésis doit être d'autant plus intense que la ferrite est en proportion plus faible et en grains plus petits : les propriétés magnétiques des aciers s'accordent bien avec cette hypothèse (1) ; l'influence amélioratrice de quelques centièmes d'aluminium et de silicium provient sans doute en partie de ce que ces substances favorisent la structure à gros grains.

4. Manifestation des actions magnétiques existant entre les particules voisines. — J'ai pu étudier ces actions magnétiques et leur rayon d'activité en procédant de la manière suivante (2) : lorsqu'on effectue un dépôt électrolytique de fer sur une tige préalablement aimantée, les couches qui se déposent prennent une forte aimantation du même sens que celui de l'aimantation de la tige ; cette action orientante de la surface aimantée est une action moléculaire analogue à celle qui se manifeste dans l'accroissement des cristaux ; elle est très forte, ce qui peut être montré en la combattant par l'action inverse d'un champ magnétique. Lorsque le dépôt électrolytique produit sur une surface métallique quelconque (non aimantée), est effectué dans un champ magnétique, il prend en se formant une aimantation de même sens que le champ ; or, dans le cas actuel, c'est-à-dire quand le dépôt s'effectue sur une surface aimantée, si on fait agir un champ magnétique de sens inverse à celui de cette aimantation, c'est l'action de la surface aimantée qui l'emporte ; elle l'emporte même quand on augmente beaucoup ce champ négatif, jusqu'à ce que sa valeur soit celle qui renverse l'aimantation préalable de la tige (c'est-à-dire le champ coercitif correspondant à cette aimantation, 20 à 30 gauss dans mes expériences).

Si on répète les expériences précédentes en déposant sur la tige aimantée une couche mince d'un métal non magnétique, puis du fer, l'action de la surface aimantée s'exerce encore à travers la couche intermédiaire, et, en faisant varier l'épaisseur de celle-ci, on peut étudier la variation avec la distance de l'action moléculaire magnétisante ; elle est encore

(1) M. Osmond (*Phil. Mag.*, (5), t. XXIX, p. 511, 1890) a fait ressortir l'influence, au point de vue de l'hystérésis, de la juxtaposition des composant l'un très magnétique, l'autre peu magnétique. M. Charpy (Sur la constitution des aciers et ses relations avec leurs propriétés électriques et magnétiques, *Soc. Int. des Electriciens*, 3 déc. 1902. *E. E.*, t. XXXIII, p. 387, 1902) a assimilé les grains de ferrite aux aimants particulaires d'Ewing, mais il est manifeste que cette assimilation n'est qu'une image très grossière ; on doit considérer chaque grain de ferrite comme formé d'une multitude d'aimants particulaires.

(2) Sur une action magnétisante de contact et son rayon d'activité, *Journ. de Physique* (IV), t. I, p. 90, 1902. — Magnétisme, couches de passage et actions à petites distance. *Revue Générale des Sciences*, 15 déc. 1901.

Digitized by Google

très sensible à 30 ou 40$^{\mu\mu}$ et ne devient négligeable qu'à une distance trois ou quatre fois plus grande.

On conçoit que dans les substances magnétiques à structure réticulaire les actions du constituant qui entoure les cellules, s'exerçant jusqu'à ces distances, puissent prendre une grande importance quand le grain est assez fin.

5. Propriétés magnétiques des différents constituants des aciers (Voy. *Constitution*, etc., 39). — Pour voir un peu clair dans les propriétés magnétiques des fers carburés il faudrait d'abord connaître les propriétés magnétiques de leurs constituants; or on n'a actuellement à ce sujet que des renseignements fort incomplets.

Pour la *ferrite* seulement les renseignements sont assez complets; les fers presque purs sont formés presque exclusivement de ferrite, et leurs propriétés magnétiques diffèrent sans doute peu de celles de la ferrite pure; l'aimantation rémanente I_r y est grande, mais le champ coercitif H_c est très faible, c'est-à-dire que l'aimantation permanente y est peu stable et l'hystérésis faible.

La *cémentite* Fe^3C, l'autre constituant bien défini, est beaucoup plus mal connue, parce qu'il n'existe pas de fer carburé qui en soit presque exclusivement composé; les expériences qualitatives faites sur les grains isolés en dissolvant dans un acide étendu le reste d'un fer carburé à cémentite montrent que ces grains sont fortement magnétiques et conservent une aimantation permanente notable. Il faudrait pouvoir étudier la cémentite de synthèse.

Les propriétés magnétiques de la *perlite* participent de celles de ses constituants, la ferrite et la cémentite; mais ces constituants sont ici intimement mêlés et juxtaposés sous des épaisseurs très faibles; les parties superficielles des lamelles de ferrite ou de cémentite prennent une grande importance par rapport à la masse totale, et l'influence de la structure signalée plus haut doit s'exercer ici d'une manière intense; il est probable que la perlite est caractérisée par une forte hystérésis.

Quant aux propriétés magnétiques de la solution solide fer-carbone (*martensite*), elles sont encore moins bien connues; la variété connue sous le nom d'austenite (20) paraît n'être, à la température ordinaire, que faiblement magnétique; la martensite, principal constituant des aciers trempés, est au contraire fortement magnétique; sa structure granulée intervient certainement beaucoup dans les caractères des aciers trempés, lente croissance de I avec H, grandes valeurs de I_r et surtout de H.

6. Passage de l'état magnétique a l'état non magnétique. — On ne connaît bien ce passage que pour la ferrite; on constate bien pour chaque acier la perte des propriétés magnétiques à une certaine température, plus ou moins étalée, mais on ne sait pas ce qui est alors dû aux transformations elles-mêmes et aux variations des propriétés magnétiques de chaque constituant. La solution solide (martensite) est certainement non magnétique à haute température; or, quand on produit un refroidissement brusque, on obtient à la température ordinaire un acier formé surtout de martensite, mais possédant pourtant de fortes propriétés magnétiques; il faut donc que la martensite subisse même dans le refroidissement très rapide une transformation qui la rende magnétique; on peut supposer par exemple que le fer qu'elle contient subit les mêmes transformations que le fer supposé seul (γ, β, α, v. 2); mais l'existence de l'austenite peu magnétique (20) montre que la chose n'est pas si simple. Les variations sont encore plus obscures pour la cémentite, où le fer est à l'état de combinaison, et qui doit par suite se transformer d'une manière particulière; à la température où elle commence à se former (vers 1 000°, d'après M. Roozeboom) (11), elle est vraisemblement non magnétique, alors qu'elle l'est à la température ordinaire.

Digitized by Google

7. On préciserait beaucoup ce qu'on sait sur tous ces points en étudiant les propriétés magnétiques de substances formées presque exclusivement d'un seul constituant et leur variation avec la température, par exemple un acier à 0,85 p. 100 de carbone obtenu par refroidissement lent de manière à ce qu'il soit formé surtout de perlite, ou encore la cémentite obtenue par synthèse au four électrique ; d'une manière générale, il faudrait déterminer la constitution et la structure des substances étudiées. Je crois que l'étude de l'aimantation à saturation fournirait des renseignements particulièrement nets.

8. Aimantation a saturation. Son importance pour l'étude des fers carburés. — Le mouvement sous l'action d'un champ magnétique des aimants particulaires est modifié par la juxtaposition de constituants de propriétés magnétiques différentes, de sorte que l'action d'un champ magnétique H sur une subtance complexe ne peut se ramener à l'action de ce même champ H sur chacun des constituants supposé seul (2, 3). Mais supposons le champ assez intense pour que la saturation soit atteinte pour tous les constituants ; chacun d'eux interviendra alors par son aimantation à saturation, qui en est, à une certaine température, une constante caractéristique ; si les fragments des différents constituants ne sont pas trop gros et sont distribués dans la masse d'une manière à peu près régulière, l'intensité d'aimantation apparente *à saturation* sera celle qu'on peut calculer d'après l'intensité d'aimentation à saturation de chaque constituant et les proportions des différents constituants.

J'ai étudié [1] l'aimantation de substances formées par une poudre de fer agglutinée par la paraffine ou un corps analogue ; elles peuvent être considérées comme un cas particulier des substances complexes dont nous nous occupons ici, celui où des grains très magnétiques sont noyés dans un milieu non magnétique ; or les résultats obtenus appuient les idées précédentes. Appelons S l'aimantation spécifique, c'est-à-dire le quotient $S = \frac{I}{d}$ de l'intensité d'aimantation ordinaire I rapportée au volume par la densité en poudre magnétique *d* de l'échantillon considéré (masse de poudre par centimètre cube). J'ai trouvé que S croît d'autant plus lentement avec H que *d* est plus faible, mais atteint à la saturation à peu près la même valeur-limite quelle que soit la teneur en fer, cette limite étant voisine de celle qui correspond au fer compact.

Ainsi pour une valeur donnée du champ magnétique, l'intensité d'aimantation n'est pas proportionnelle à la teneur en fer ; le quotient $\frac{I}{d}$ est d'autant plus petit que la proportion de substance non magnétique est plus grande, conformément aux idées exposées plus haut [2] ; mais quand la saturation est atteinte, l'intensité d'aimantation devient proportionnelle à la teneur en poudre magnétique, celle-ci intervenant alors par son intensité d'aimantation limite qui est une quantité bien définie.

L'étude de l'aimantation à saturation de substances magnétiques complexes de constitution connue permettrait ainsi de connaître l'aimantation à saturation des différents constituants, en faisant un nombre suffisant d'expériences, et il y aurait à faire cette étude à différentes températures ; on peut remarquer que l'étude de l'aimantation à saturation pour une

---

[1] *Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 465-472, 1903.

[2] En effet, le champ démagnétisant que se crée chaque grain de fer est d'autant plus grand que l'épaisseur de la substance non magnétique qui l'entoure est plus grande, c'est-à-dire que la proportion de fer est plus faible ; par suite le champ qui agit réellement sur les grains est, en moyenne, d'autant plus faible par rapport au champ magnétique apparent H que la proportion de fer est plus faible ; il en résulte qu'un champ apparent H doit produire une aimantation spécifique d'autant plus faible que la proportion de fer est plus faible, tant qu'on est éloigné de la saturation magnétique.

Digitized by Google

substance de constitution inconnue donnerait ensuite une relation entre les proportions des différents constituants.

9. Peut-être convient-il d'apporter quelque réserve aux considérations précédentes pour le cas où les constituants sont intimement mélangés ; les propriétés physiques d'une substance, et en particulier les propriétés magnétiques (1), sont en effet plus ou moins différentes dans les couches superficielles de ce qu'elles sont dans l'intérieur de la masse, et cette altération dépend sans doute de la nature de la substance avec laquelle la première est en contact ; il est fort possible que ces phénomènes interviennent parfois d'une manière active dans les fers carburés. M. Guillaume (2) a montré qu'on peut expliquer ainsi les particularités des propriétés des aciers au nickel à forte teneur en nickel ; le fer très dilué dans le nickel serait magnétique ou non magnétique suivant que le nickel l'est, c'est-à-dire prendrait la température de transformation du nickel. Il est probable que des actions de ce genre influent souvent sur les propriétés des alliages.

Ch. Maurain.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Sur quelques diagrammes du moteur asynchrone monophasé. par **H. Gœrges.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 271, 9 avril 1903.

Les théories actuellement données du moteur d'induction monophasé sont de deux espèces différentes : les unes font découler la théorie du moteur monophasé de celle du moteur polyphasé, par la décomposition du champ alternatif primaire en deux champs tournants de sens contraire, d'après le célèbre théorème de Leblanc (3) ; les autres, dues à Potier (4), Steinmetz (5) et Gœrges, traitent directement le moteur monophasé ; Potier déduit même la théorie du moteur polyphasé de celle du moteur monophasé.

M. Gœrges n'est pas partisan de l'emploi du théorème de Leblanc ; même la décomposition, non plus du flux primaire, mais des ampère-tours primaires en deux forces magnétomotrices tournantes, exposée d'une façon très nette par Eichberg (1), ne trouve pas grâce à ses yeux ; il la juge artificielle et loin de la réalité (2)

L'auteur, reprenant la méthode directe, en établit les équations et arrive à un diagramme d'ailleurs très intéressant, que nous reproduisons ci-dessous.

Soit (fig. 1) un moteur monophasé dont l'enroulement primaire comporte deux spires AA et BB perpendiculaires à l'axe des X et engendrant pour un courant primaire positif, un champ dirigé suivant OX. Le rotor, portant un certain nombre de spires, telles que CC, uniformément réparties, tourne en sens inverse des aiguilles d'une montre : soit θ l'angle formé par la normale à une spire avec OX, la normale étant prise dans le sens du champ engendré par un courant positif dans la spire.

La composante suivant OX du flux total engendre une force contre électromotrice qui doit être égale à la différence de la tension primaire

(1) *Journ. de Physique* (IV), t. I. p. 151, 1902, et *Rev. Gén. des Sciences, loc. cit.*

(2) Ch.-Ed. Guillaume, *C. R. de l'Acad. des Sciences*, t. CXXXVI, p. 1638, 29 juin 1903 et t. CXXXVII, p. 44. 6 juillet 1903. *Revue Génér. des Sciences*, 30 juillet 1903.

(3) Voir : Du rôle des fuites magnétiques dans les moteurs à champ tournant, par Blondel, *Écl. Élect.*, t. V, p. 97, 166, 253, 296, 442, 540, 592.

(4) Voir *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 1894, p. 248.

(5) Voir : Le moteur asynchrone monophasé, par Steinmetz, *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 376), 9 Juin 1900.

(1) Voir Eichberg, *Écl. Élect.*, t. XXV, p. 313, 24 novembre 1900.

(2) A ce sujet nous ne sommes pas de l'avis de M. Georges ; nous croyons cette méthode fort exacte, comme il sera facile d'en juger par la réponse de M. Eichberg, et la comparaison des deux méthodes donnée à la fin de cet article. N. d. T.

Digitized by Google

U_1, et de la chute de tension ohmique $R_1 I_1$, et cette condition la détermine nettement, toute composante suivant OY ne pouvant exercer d'influence sur l'enroulement primaire.

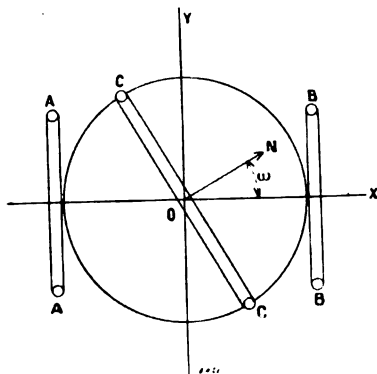


Fig. 1.

Une partie seulement de ce flux φ, dirigé suivant OX, traverse l'induit ou rotor, l'autre constituant le flux de dispersion : de plus, chaque spire n'est pas traversée par tout le flux et nous appelons $M.10^8$, la somme des flux qui traversent chaque spire ; on a alors (N étant le nombre de spires) :

$$M = k.N.\Phi.10^{-8} \quad ,$$

où k est un facteur de correction inférieur à l'unité (M peut être appelé le *flux spires* total).

Soit maintenant m le flux à travers une spire, la force électromotrice engendrée dans cette spire est :

$$e = -\frac{dm}{dt} = -\frac{\partial m}{\partial t} - \frac{\partial m}{\partial \theta}\frac{d\theta}{dt}.$$

La force électromotrice comporte deux composantes, l'une $\frac{\partial m}{\partial t}$, engendrée par les variations du flux dans la spire au repos, est forcément dirigée suivant OX et sera désignée par e'_x, l'autre $-\frac{\partial m}{\partial \theta}\frac{d\theta}{dt}$ engendrée par la rotation de la spire dans un flux supposé constant, est dirigée suivant OY et sera appelée e_y.

Si nous faisons l'hypothèse que les flux varient sinusoïdalement dans le temps comme dans l'espace, en représentant par Ω la pulsation du courant primaire, par v le rapport de la vitesse de l'armature à celle du synchronisme, par M_0 la valeur maximum de M nous obtenons :

$$\left.\begin{aligned} m &= M_0\Omega_0 \sin t \cos\theta. \\ e'_x &= -\Omega M_0 \cos \Omega t \cos\theta \\ e_y &= v\Omega M_0 \sin \Omega t \sin\theta \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

les amplitudes des deux composantes sont égales au synchronisme.

Pour pouvoir construire un diagramme, substituons à l'enroulement réel mobile du rotor, un ensemble de deux enroulements fixes disposés de façon à équivaloir exactement au premier ; nous appellerons R la résistance ohmique de chacun de ces deux enroulements séparés. La composante e'_x engendrant des courants qui ne produisent de flux que dans la direction OX, agira sur un enroulement X perpendiculaire à cette direction ; de même e_y agira sur un enroulement Y, d'axe OY, les intensités étant prises positives quand elles donnent naissance à des champs dirigés suivant les X ou les Y positifs.

La force électromotrice E'_x engendrée dans l'enroulement X est, d'après le système (1), proportionnelle à la valeur résultante de M dans la direction OX, c'est-à-dire M_x, et décalée de $\pi/2$ en retard sur cette direction ; E_y est au contraire proportionnelle à $v M_x$ et en phase avec M_x : entre les valeurs maxima, on a la relation

$$E_y = v.E'_x.$$

Nous pouvons maintenant tracer le diagramme.

Soit (fig. 2)

$$OA = M_x, E'_x = OB \text{ et } E'_y = OC.$$

E_y engendre un courant J_y, qui produit un flux se fermant à travers le fer et l'entrefer, sans rencontrer aucun enroulement ; ce flux M_y est par suite fortement décalé, près de 90°, sur la tension E_y et comme à cause de l'hystérésis J_y est un peu en avance sur le flux M_y, nous pouvons porter M_y en OD, faisant un angle φ_y avec M_x et J_y en OE, un peu en avance sur M_y.

Dans les formules nous négligerons le retard dû à l'hystérésis. On a :

$$J_y = \frac{E_y}{R} \cos\varphi_y = v.\frac{E_x}{R} \cos\varphi_y \quad ; \qquad (2)$$

d'autre part, entre les forces électromotrices et

Digitized by Google

les flux, on a les relations :

$$\left.\begin{array}{l} E_y . \sin \varphi_y = \Omega M_y \\ E'_x \qquad = \Omega M_x \end{array}\right\} \qquad (3)$$

En divisant membre à membre ces deux équations, on arrive à l'équation fondamentale :

$$M_y = \nu . M_x \sin \varphi_y : \qquad (4)$$

la rotation de l'armature développe un magnétisme transversal, sensiblement décalé de 90° sur le magnétisme primitif (de direction OX), *directement proportionnel au nombre de tours et à la composante suivant* OX *du magnétisme résultant et sensiblement égal à cette dernière valeur au synchronisme.*

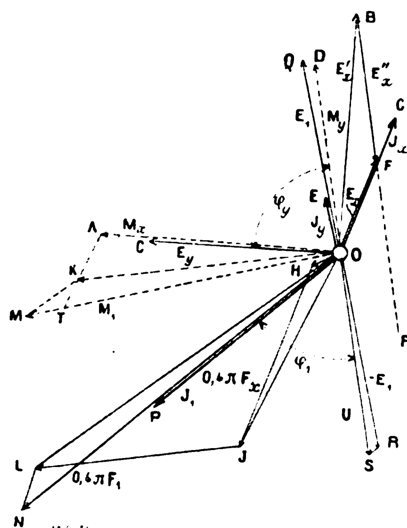


Fig. 2.

Ce flux transversal M_y engendre des forces électromotrices dans les deux enroulements X et Y ; la force électromotrice dans l'enroulement Y a été calculée, puisque c'est elle qui correspond à l'inductance de cet enroulement Y ; mais par le fait de la rotation, tout se passe comme si une force électromotrice était également engendrée dans l'enroulement X de valeur

$$e''_x = -\frac{\partial m_y}{\partial \theta} \frac{d\theta}{dt} \quad ;$$

soit pour l'amplitude

$$E''_x = \nu \Omega M_y = \nu^2 . E'_x . \sin \varphi_y . \qquad (5)$$

Cette force électromotrice est donc proportionnelle au carré de la vitesse : quant à ce qui concerne sa phase, on l'obtient en remarquant que les forces électromotrices engendrées par rotation dans un flux constant tendent toujours à fournir des flux dirigés dans l'espace à 90° en avance sur le flux primitif, dans le sens du mouvement. Le magnétisme M_x engendre donc un champ de même phase dans la direction OY, le magnétisme M_y un champ de même phase dans la direction négative de l'axe des X : nous portons donc $E''_x = \overline{BF}$ parallèlement à DO et la force électromotrice résultante dans l'enroulement X est ainsi $\overline{OF} = E_x$: d'ailleurs J_x est en phase avec E_x, et donné par l'égalité :

$$J_x = \frac{E_x}{R} . \qquad (6)$$

Pour terminer le diagramme, on n'a qu'à considérer les deux enroulements (X et primaire), comme les deux enroulements d'un transformateur et leur appliquer le diagramme de ces machines, ce que l'auteur fait de la façon suivante :

Pour produire le magnétisme X dans le rotor, il faut une certaine force magnétomotrice que l'on porte à cause de l'hystérésis, suivant OH, en avance sur OA. Ajoutons à OH, le vecteur $\overline{HJ}$, directement opposé à J_x et égal à $0,4 . \pi F_x$, F_x désignant le nombre d'ampèretours, nous obtenons en $\overline{OJ}$ la différence de potentiel magnétique qui produit la dispersion secondaire, laquelle peut être représentée par $\overline{AK}$, ce qui donne en $\overline{OK}$ le magnétisme traversant l'entrefer. A ce magnétisme correspond une force magnétomotrice $\overline{JL}$, parallèle à $\overline{OK}$, $\overline{OL}$ étant la différence de potentiel magnétique qui produit la dispersion primaire $\overline{KM}$ proportionnelle et parallèle à $\overline{OL}$. Le magnétisme primaire total est ainsi $OM = M_1$; il nécessite, pour son établissement dans le fer du stator, une force magnétomotrice $\overline{LN}$, en avance à cause de l'hystérésis, sur la direction $\overline{OM}$. $\overline{ON}$ donne alors la force magnétomotrice totale primaire $0,4 . \pi . F_1$ et J_1 le courant primaire.

Pour obtenir la tension aux bornes U, à la force contre électromotrice — E_1, portée en $\overline{OR}$ perpendiculairement à M_1, il faut ajouter la chute $\overline{RS}$, parallèle à J_1 et on construit ainsi, $\overline{OS} = U$.

Digitized by Google

Etude du couple. — Le couple définitif comprend l'action de l'enroulement X sur le champ Y et celle de l'enroulement Y sur le champ X : la première donne un couple positif, la seconde un couple négatif. En supprimant un facteur de proportionnalité, nous avons pour le couple total :

$$C = -M_x J_y \cos \varphi_y + M_y J_x \cos (M_y, J_x) \qquad (7)$$

Pour représenter graphiquement ces deux termes, faisons tourner les vecteurs $\overline{OG}$ et $\overline{OE}$ de 90° à gauche, en $\overline{OG'}$ et $\overline{OE'}$ (fig. 3). Le parallélogramme construit sur $\overline{OD'}$ et $\overline{OG'}$, représente le couple positif et le parallélogramme $\overline{OA}$ $\overline{OE'}$ le couple négatif.

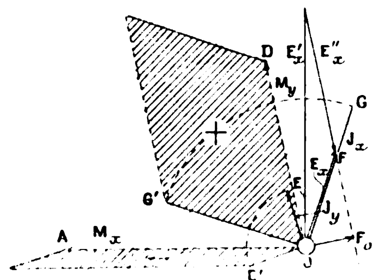


Fig. 3.

Il est intéressant de remarquer que c'est le champ transversal qui produit le couple positif et que la valeur moyenne de l'effort tangentiel est négative au point situé dans l'axe de l'enroulement primaire et positive, au point situé à 90° de celui-là, sur l'axe des Y.

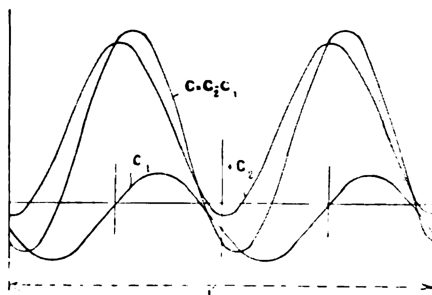


Fig. 4.

La figure 4 représente l'allure des couples, positif C_2, négatif — C_1 et total C : ce sont des sinusoïdes de fréquence double, surélevées au-dessus de l'axe des temps, variant d'une valeur négative faible à une valeur positive plus grande.

Au synchronisme, on a

$$E''_x = E'_x \sin \varphi_y = \overline{OB} \sin \varphi_y = \overline{BF_0},$$

l'angle $\overline{BF_0O}$ étant droit.

La surface G'D s'annule : il ne reste que le couple négatif, correspondant à la fourniture des pertes par hystérésis et courants de Foucault du champ Y et des pertes Joule dans l'enroulement Y.

En négligeant les pertes dans le fer, on trouve pour la puissance correspondante au couple C_1 :

$$v\Omega C_1 = -RJ_y^2,$$

le couple étant donc mesuré de telle façon que son produit par la vitesse angulaire donne la puissance électrique.

Si on diminue la vitesse, le couple total devient nul pour un faible glissement, puis positif pour les glissements supérieurs.

Si on augmente la résistance de l'enroulement secondaire, M_y et φ_y décroissent ; les angles DOB et BOG augmentent et par suite l'angle DOG' et avec lui le couple positif, diminuent rapidement.

Formules. — En négligeant les pertes dans le fer, il vient pour le couple négatif, en partant de (2) :

$$C_1 = v \frac{M_x E'_x}{R} \cos^2 \varphi_y. \qquad (8)$$

Pour calculer le couple positif, nous tirons du triangle OFB,

$$E_x = \sqrt{E'^2_x + E''^2_x - 2E'_x E''_x \sin \varphi_y}$$
$$= E'_x \sqrt{1 + (v^4 - 2v^2) \sin^2 \varphi_y},$$

et du diagramme

$$\cos (M_y, J_x) = \frac{E'^2_x - E^2_x - E''^2_x}{2E_x E''_x},$$

d'où pour le couple C_2, après réductions,

$$C_2 = v \frac{M_x E'_x}{R} (1 - v^2) \sin^2 \varphi_y, \qquad (9)$$

et pour le couple total

$$C = C_2 - C_1 = -v. \frac{M_x E'_x}{R} (\cos 2\varphi_y + v^2 \sin^2 \varphi_y);$$

Digitized by Google

ou, d'après (3),

$$C = -\nu \frac{\Omega M_x^2}{R} (\cos 2\varphi_y + \nu^2 \sin^2 \varphi_y) \qquad (10)$$

On peut calculer ainsi successivement :
la perte de chaleur dans l'induit,

$$Q = (J_x^2 + J_y^2)R = \Omega^2 \frac{M_x^2}{R} [(1 - \nu^2 \sin^2 \varphi_y) + \nu^2 (\cos 2\varphi_y + \nu^2 \sin^2 \varphi_y)] \ ; \qquad (11)$$

la puissance mécanique P_m,

$$P_m = \nu \Omega C = -\frac{\Omega^2 M_x^2 \nu^2}{R} (\cos 2\varphi_y + \nu^2 \sin^2 \varphi_y), \qquad (12)$$

en unités électriques, comme celles de la formule (11),
et la puissance totale fournie à l'induit. P,

$$P = P_m + Q = \Omega^2 \frac{M_x^2}{R} (1 - \nu^2 \sin^2 \varphi_y). \qquad (13)$$

Si on fait approximativement sin $\varphi_y = 1$ et cos2 $\varphi_y = -1$, il vient :

$$\left.\begin{aligned} C &= \Omega \frac{M_x^2}{R} \nu (1 - \nu^2) \\ Q &= \Omega^2 \frac{M_x^2}{R} (1 - \nu^2)^2 \\ P_m &= \Omega^2 \frac{M_x^2}{R} \nu^2 (1 - \nu^2) \\ P &= \Omega^2 \frac{M_x^2}{R} (1 - \nu^2) \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

d'où

$$\frac{Q}{P} = (1 - \nu^2)$$

ou, pour de faibles glissements, sensiblement

$$\frac{Q}{P} = 2(1 - \nu) = 2g :$$

le pourcentage de perte Joule dans l'induit est ici égal au double du glissement.

Remarque. — Dans une lettre adressée a l'*Elektrotechnische Zeitschrift* (1), M. Eichberg exprime qu'il continue, malgré l'opinion de M. Gœrges, à considérer comme rigoureusement exacte la théorie du moteur monophasé, basée sur la décomposition de la force magnétomotrice primaire alternative en deux forces magnétomotrices tournantes et mise nettement en lumière par la décomposition du moteur monophasé en deux moteurs diphasés accouplés mécaniquement, etdisposés électriquement en série, décomposition qui se fait par l'adjonction d'un enroulement d'effet total nul (1).

On peut, par cette méthode, en construisant le diagramme des champs tournants, obtenir le champ alternatif dans la direction perpendiculaire à l'axe de l'enroulement primaire, et on constate que ce champ n'est ni simplement proportionnel à la vitesse, ni indépendant en phase de cette vitesse, comme il ressort de la théorie de Gœrges.

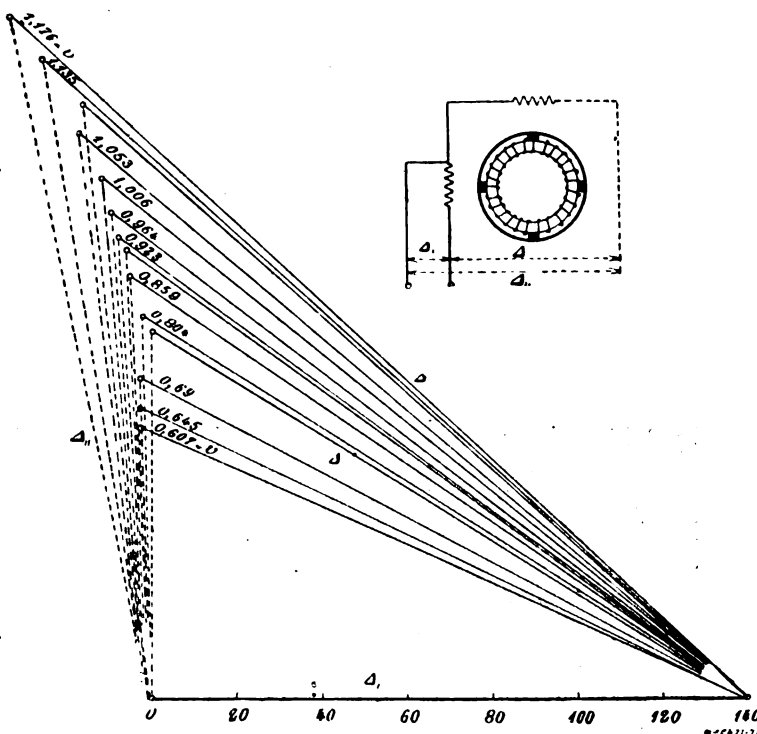


Fig. 6*a* et 6*b*.

Dans le but de rechercher quelle était la vérité entre ces deux solutions contradictoires, l'auteur de la lettre a effectué des meures de tension, suivant le schéma de la figure 5 *a* (p. 98), en relevant les tensions aux bornes de l'enroulement primaire Δ_1, d'un enroulement placé à 90° sur le stator Δ et de la tension résultante de ces deux là Δ, me-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 446, 4 juin 1903.

(1) Voir *Écl. Élect.*, *loc. cit.*, et *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1900, n° 24.

sures qui ont permis de construire les triangles de la figure 5 *b*, pour une tension primaire Δ_I, constante. Les valeurs obtenues pour Δ_{II} peuvent être sensiblement considérées comme des mesures du champ transversal et on voit qu'elles ne sont ni proportionnelles à la vitesse, ni de phase indépendante de cette vitesse. Il est évident d'ailleurs que la chute ohmique primaire introduit une erreur appréciable; l'auteur a trouvé que ces valeurs coïncidaient cependant beaucoup mieux avec les quantités tirées de son diagramme.

En terminant, il s'est demandé si cette non-coïncidence ne pouvait pas être attribuée aux

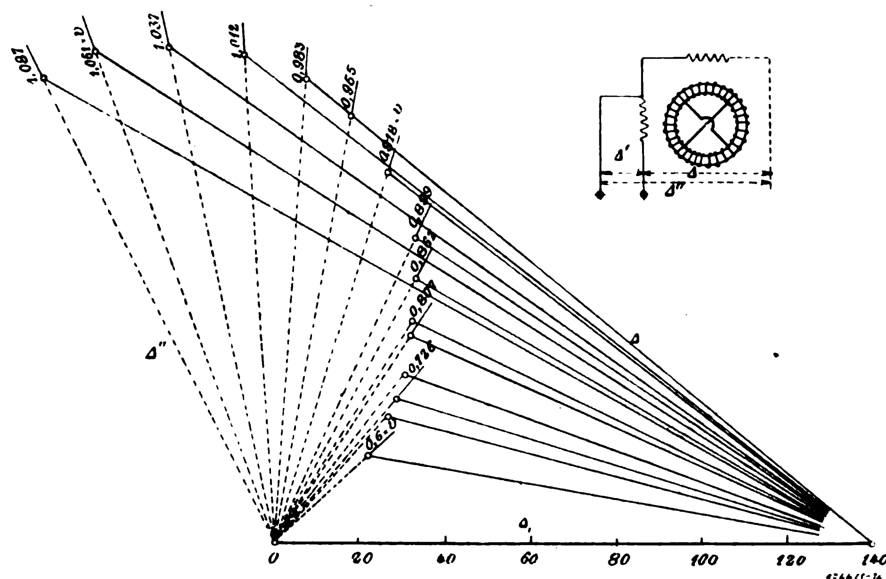


Fig. 5*a* et 5*b*.

hypothèses introduites par Gœrges, qui semble avoir plutôt fait la théorie, non du moteur monophasé ordinaire mais d'un moteur muni d'un induit de dynamo à courant continu, court-circuité sur quatre lignes de balais, tel que celui de la figure 6 *a*.

Effectuant alors sur ce moteur la même série de mesures que sur le premier, il a trouvé les triangles de la figure 6*b*, qui donnent pour Δ_{II} une assez bonne coïncidence avec les lois de Gœrges, aux erreurs près que peut introduire la chute ohmique primaire. A. M.

TRACTION

Etude magnétique de l'état moléculaire des essieux de locomotives et de voitures de chemins de fer, par **A. Sandaran**. *La Energia Electrica*, Madrid, t. VIII, p. 14-16 et p. 23-27, n°s 1 et 2, juillet 1903.

L'auteur a eu l'idée d'utiliser les propriétés magnétiques du fer et de l'acier, en vue d'examiner l'état moléculaire ou physique des essieux de locomotives et de voitures de chemins de fer. Après avoir exposé les principes théoriques sur lesquels se base ce procédé, il donne la description de ce dernier. De ce que nous savons de l'allure des propriétés magnétiques d'un corps, il ressort que si l'on construit le graphique d'un cycle d'aimantation, on pourra obtenir d'un organe de machine en fer ou en acier une image pour ainsi dire magnétique. Comme les causes ultérieures qui agissent sur lui pendant le fonctionnement ou le service, affectent, comme le démontre l'expérience, la valeur de la perméabilité, nous observerons, en prenant à des intervalles déterminés les graphiques d'un cycle corpondant, des variations dans la valeur de l'hystérèse, lesquelles pourront servir à nous renseigner sur l'état moléculaire du dit organe dans les différentes phases de son fonctionnement.

Ces expériences une fois faites, il nous sera loisible de déduire, par comparaison, l'état moléculaire d'un autre organe mécanique analogue, en le soumettant à un examen électromagnétique semblable.

Digitized by Google

Les essieux employés dans les locomotives et wagons de chemins de fer se trouvent exposés à une modification spéciale de l'état moléculaire, modification due aux vibrations qu'ils éprouvent pendant le service, de telle manière qu'après un certain intervalle de temps, ils deviennent cassants, en raison de l'état cristallin que prend leur constitution moléculaire.

Les vibrations, au point de vue du magnétisme, ont pour effet de diminuer toutes les actions résiduelles, et font en sorte que la pièce de fer en cause acquière plus rapidement l'état moyen correspondant à la force magnétique qui agit sur elle. En d'autres mots, elles réduisent l'hystérèse, de manière que dans les courbes d'induction l'on observe des branches ascendantes et descendantes qui ne se différencient que peu les unes des autres.

Aussi, il doit exister des différences caractéristiques entre les courbes d'aimantation d'un essieu, prises à des époques différentes de son service, différences que seule l'expérience pourra déterminer en observant divers essieux et en traçant les courbes correspondantes. Le résultat

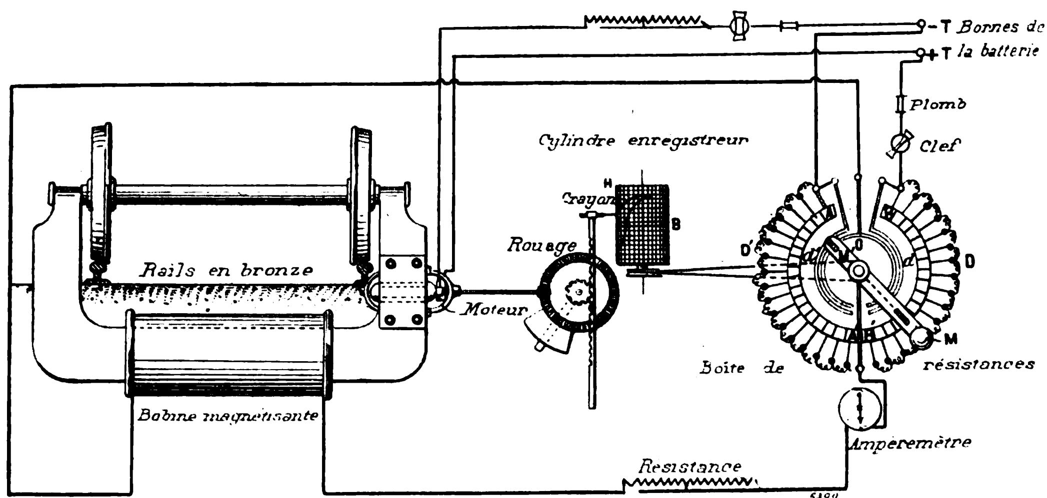


Fig. 1.

de ces expériences pourrait ensuite servir à établir un nouveau procédé qui permît de vérifier si les essieux des wagons ont subi des altérations qui compromissent la sécurité du service, ce qui donnerait le moyen d'éviter les catastrophes dues aux ruptures d'essieux pendant la marche du train. Pour le moins, l'on disposerait d'une méthode rationnelle et suffisamment claire pour vérifier l'état actuel d'un essieu.

Dispositifs pratiques. — En essayant de combiner les dispositions les plus appropriées à faciliter les essais en question, l'auteur s'est heurté à certains inconvénients provenant des dérivations magnétiques et de l'influence qu'exerce l'état spécial des parties autres que l'essieu. D'autre part, le dispositif de vérification n'étant pas transportable, on se trouve dans la nécessité de transférer le wagon à l'endroit où ce dernier se trouve installé, ce qui est surtout fâcheux dans le cas d'un grand nombre de wagons à examiner. Aussi l'auteur a cru bon de profiter des moments où l'on enlève le wagon, ce qui se fait couramment dans le service des chemins de fer ; dans ce cas, l'on n'a qu'à déplacer les roues, ce qui est chose facile.

Voici du reste la disposition représentée par le diagramme (fig. 1) :

On constitue un circuit magnétique comprenant un noyau en U, formé de plaques de fer isolées entre elles, et complété par l'axe à essayer. Sur la branche horizontale, on enroule une bobine parcourue par le courant magnétisant alors que dans la branche verticale de droite, il y a un entrefer, une solution de continuité où se place une sorte de petit moteur électrique alimenté par une batterie d'accumulateurs dont les bornes se trouvent en T et — T. Ce circuit dérivé comprend une résistance r, un plomb et une clef.

L'axe du moteur se prolonge et se termine par un pignon engrenant avec un rouage qui a

Digitized by Google

pour objet d'élever le centre de gravité d'un contrepoids ; de manière que le moment de ce dernier, par rapport au dernier axe du rouage, va en augmentant à mesure que celui-ci tourne dans un sens ou dans l'autre à partir de la position initiale, laquelle correspond à la position verticale du contrepoids. L'auteur préfère les contrepoids aux ressorts qui sont exposés à des variations nuisibles à l'exactitude de l'appareil. L'une des roues du mouvement d'horlogerie engrène avec une crémaillère verticale, à l'extrémité de laquelle est attaché un porte-crayon et dans ce dernier un crayon, appuyant sur un cylindre recouvert de papier quadrillé où la courbe sera tracée.

Le cylindre tourne autour de son axe vertical au fur et à mesure des variations de la force magnétomotrice. A cet effet, il porte une poulie, en relation avec une autre, attachée à l'axe du rhéostat-commutateur. Ce dernier se compose d'un anneau central O, en communication avec l'une des extrémités de la bobine magnétisante ; deux secteurs annulaires d et d' sont reliés aux bornes (+T) et (—T) et avec la boite de résistances AB. Sur l'axe du rhéostat, on a monté deux bras MM', dont le premier établit la communication électrique entre l'axe et les plots de la boîte de résistances, alors que l'autre, M', met l'anneau O en communication avec l'un ou l'autre des secteurs d et d'. De plus, l'axe du rhéostat se trouve en relation avec les bornes de la bobine. Dans cette dernière partie du circuit d'aimantation sont installés : un ampèremètre à zéro et une résistance variable, servant spécialement, comme la résistance du circuit dérivé, à la graduation initiale de l'appareil. Une clef et un plomb de sûreté complètent l'installation

Fonctionnement. — Première période. — La manivelle M se trouvant entre les plots A'B', le courant magnétique est nul ; aussi l'induction $\mathfrak{B}$, dans ce cas, équivaut-elle à zéro. L'induit ne tournera pas et le crayon se trouvera à l'origine des coordonnées.

En déplaçant la manette M du côté D du rhéostat, on voit le courant venant de (+T) se rendre au plot B, traverser toute la résistance du côté D, l'ampèremètre, la résistance R, la bobine magnétisante, pour se rendre de là à l'anneau O, au secteur d', au plot A, et finalement à la borne (— T).

La valeur initiale de ce courant se règle au moyen du rhéostat R, de manière qu'on obtienne un mouvement de l'induit du moteur, ni trop grand, ni trop petit, mais appréciable dans le diagramme de la courbe. Le cas échéant, on a recours au rhéostat r, pour agir sur le courant de l'induit.

A mesure que la manivelle M, monte du côté, de D, les résistances D s'éliminent et le courant magnétisant augmente, atteignant une valeur maxima, lorsque la manivelle M se trouve sur B. Grâce à la transmission du mouvement qui existe entre le rhéostat et le cylindre enregistreur, ce dernier aura tourné d'un certain angle, en relation avec les variations de la force magnétisante. D'autre part, l'induit en raison de l'induction à travers l'entrefer, aura tourné, jusqu'à ce que la valeur de son couple-moteur, transmis à l'axe du contrepoids, fasse équilibre au moment de gravitation de ce dernier. C'est dire que, pendant cette première époque, nous aurons obtenu le tracé de courbe O m (fig. 2).

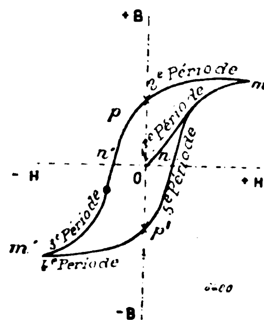


Fig. 2.

Seconde période. — On ramène la manette M en bas du même côté D : le courant décroît, jusqu'à atteindre la valeur zéro, quand M se trouve de nouveau entre A' et B'. Le cylindre aura tourné du même angle que tout à l'heure et en sens contraire. L'induction, retardée en phase par rapport au courant magnétisant, aura toutefois diminué, et comme le moment du contre-poids est supérieur à celui du couple-moteur de l'induit, le premier agira comme moteur sur ce dernier, lui faisant défaire une partie du mouvement effectué dans la première période, de manière que, quand le courant magnétisant atteint la valeur zéro, l'induction $\mathfrak{B}$ conserve toujours la valeur positive de la rémanence, et c'est ainsi que le crayon ne descend que jusqu'au point p de l'axe des ordonnées. La courbe tracée, dans

Digitized by Google

cette seconde période, sera, on le voit, *mp*.

Troisième période. — Lorsque la manette M monte du côté de D', le courant change de sens, suivant maintenant le chemin que voici : borne (+ T), segment d'anneau O, bobine, résistance R, ampèremètre, centre du rhéostat, manivelle M, plot A, de la boîte de résistances, côté D' de cette dernière, plot A et borne (+ T). La valeur du courant magnétisant augmente en sens négatif, jusqu'à atteindre une valeur négative maxima, quand M se rencontre sur A. Pour détruire la rémanence positive *p* O, il a fallu une force coercitive de la valeur O *n'*. La courbe obtenue dans cette troisième période sera *p n' m'*.

Quatrième période. — En ramenant la manivelle M par D' en bas, l'on obtient pour les effets de l'hystérèse, combinés avec les mouvements du crayon, la courbe *m' p'*, *p'* O étant la valeur de la rémanence négative.

Cinquième période. — Finalement, lorsque la manette M passe de A' à B', le courant est de nouveau interverti, en l'avançant de nouveau du côté D, nous obtiendrons le tracé *p' n m*, fermant le cycle. Au moment où M se trouve sur B, la valeur du courant étant maxima, il convient de rompre le circuit en se servant de la clef L et en ayant soin de détacher le crayon du graphique.

Le diagramme ainsi obtenu peut se retirer, pour être collectionné en même temps que les autres, se rapportant au même axe. Il conviendra d'enregistrer sur un livre la valeur de l'aire du cycle, représentant le travail dû à l'hystérèse et, par là, illustrant l'état moléculaire de l'axe examiné.

Lorsqu'on a soin d'opérer, toutes les fois qu'on étudie l'essieu, entre les mêmes limites de courant, les cycles obtenus devront nécssairement se correspondre. Quand une rupture a eu lieu, on observera une augmentation de la réluctance, les courbes ayant, pour les mêmes valeurs de la force magnétisante, des valeurs de l'induction inférieures à celles du diagramme antérieur.

GRADENWITZ.

DIVERS

L'état actuel de l'électroculture, par **E. Guarini.** *Revue scientifique*, 4e série, t. XX, p. 233-239, 22 août 1903.

L'électroculture semble désormais vouloir sortir du domaine des recherches et des tâtonnements pour entrer résolument dans la pratique courante. Inspirée sans doute par cette conviction, la « Società Agraria di Lombardia » vient d'ouvrir un concours pour le meilleur mémoire sur les applications de l'électricité à la végétation.

Les matériaux qu'on possède sur cette intéressante question, on le verra par le court exposé qui va suivre, sont nombreux. Les conclusions qu'on a tirées, sont, de vrai, contradictoires et les méthodes discutables, mais les résultats, à n'en pas douter, sont avantageux.

Heureuse est donc l'initiative de la Société Agraria, de réunir cette masse de matériaux dispersés et d'en constituer en quelque sorte « l'aide-mémoire de l'agriculteur électricien. »

Le traitement électrique commence dès avant l'ensemencement et se poursuit durant tout le cours de la vie de la plante. Il comprend donc deux parties : l'électrisation des graines, et l'électroculture proprement dite. Cette dernière, à son tour, suivant le mode d'emploi de l'électricité, peut se diviser en électroculture par méthode indirecte et électroculture par méthode directe.

Nous entendons par « électroculture par méthode indirecte », celle où la plante vit sous une autre lumière que la lumière solaire, c'est-à-dire sous la lumière de l'arc voltaïque, des lampes Cooper Hewitt, etc.; en d'autres termes, celle où l'électricité n'intervient que comme agent indirect, savoir, comme facteur de lumière.

Nous donnons par contre l'appellation d'« électroculture par méthode directe » à celle où l'électricité électrise les plantes, l'air et le sol. Dans cette dernière méthode, la suite nous le montrera, tout genre de courant peut être utilisé : l'électricité atmosphérique, l'électricité dynamique, celle des machines statiques, voire les ondes hertziennes.

L'électrisation des graines a pour but d'exercer sur celles-ci des effets physiologiques favorables à leur germination et au développement ultérieur des plantes qui en naîtront. Des méthodes assez nombreuses ont été essayées dans ce but. La plus simple consiste à placer les graines sur une plaque de verre à laquelle est relié un conducteur venant d'une machine électrique. Un autre système place les graines dans un bocal recouvert intérieurement et extérieurement d'une

Digitized by Google

feuille d'étain et fait aboutir au milieu d'elles une tige de cuivre communiquant avec une machine électrique. L'armature extérieure du bocal communique avec le sol. C'est, en somme, une bouteille de Leyde dont les graines forment l'armature intérieure.

On peut également mettre les graines dans un vase quelconque et faire pénétrer les deux électrodes d'une pile au milieu d'elles. On peut enfin placer les graines dans un tube dont les ouvertures sont fermées par des plaques de cuivre reliées à une source d'électricité.

Quel que soit le système employé, il est indispensable d'humecter les graines : elles deviennent ainsi plus conductrices de l'électricité et risquent moins d'atteindre un degré d'échauffement — dû à la résistance des graines — qui pourrait nuire au germe ou même le détruire. Cela fait, on électrise les graines d'heure en heure, pendant plusieurs jours, et on les sème immédiatement après. On a réussi de cette façon à faire germer des graines datant de vingt ans.

Le premier qui se soit occupé de cette question est le botaniste russe Spechniew. Il constata que le développement de la plante est plus rapide et plus vigoureux en opérant l'électrisation de la graine avec un courant d'induction, mais qu'avec un courant continu, la récolte était plus abondante. De toute façon, la germination se trouvait fortement activée. Voici quelques résultats comparatifs qu'il obtint :

	Graines non électrisées. Germination en :	Graines électrisées. Germination en :
Pois	4 jours	2,5 jours
Haricots . . .	6 —	3 —
Seigle	5 —	2 —
Tournesol . .	15 —	8,5 —

En 1894, M. Paulins fit des expériences plus complètes sur des haricots préparés de différentes manières :

	Germination :
1° Non électrisés, secs.	le même jour
2° Electrisés à sec	normale
3° Non électrisés, humides. . .	2 jours plus tôt
4° Humides, électrisés 2 jours .	plus tard que 3°
5° — 3 jours .	les premiers
6° Humectés de purin 2 jours. .	médiocre

Dans une expérience sur le sarrasin, la troisième et la sixième catégorie levèrent d'abord.

Les expériences furent reprises trois ans plus tard par M. Asa S. Kermey dans le but de déterminer quel était l'effet du courant sur diverses espèces de graines et quelle espèce de courant était le plus favorable. M. Kermey se servit d'abord d'un appareil d'induction, une sorte de bobine de Ruhmkorff modifiée de façon à permettre de varier le nombre de spires du primaire et d'obtenir ainsi des tensions variées. La source d'électricité était constituée par quatre éléments Leclanché en série donnant 4 à 5 volts et deux éléments Samson donnant 2,88 volts. Les graines furent placées dans des tubes tels que ceux décrits plus haut. Voici les résultats obtenus :

Germèrent en 24 heures . . .	32,40 p. 100 des graines	
— 48 —	21,05 —	—
— 72 —	6,33 —	—

Dans une autre série d'expériences, le même savant fit usage de deux entonnoirs de verre de 0,17 centimètre de diamètre, remplis de sable humide et ensemencés de 12 graines.

L'ouverture inférieure était fermée par un petit disque de cuivre ; la supérieure, par une plaque de même métal percée de 12 trous. Les deux disques étaient reliés à un appareil d'induction. Les graines étaient de la sorte électrisées dans le sol même. L'emploi des entonnoirs permet de mieux observer la végétation de la racine. Lorsqu'il ne s'agit que d'étudier le développement de la tigelle, des pots de fleurs disposés de la même façon suffisent ou bien un baquet ayant deux faces opposées métalliques. Cette nouvelle série d'expériences a donné les résultats que voici :

Germèrent en 24 heures. . .	17,65 p. 100 des graines	
— 48 —	11,47 —	—
— 72 —	2,38 —	—
— 96 —	2,38 —	—

De ces expériences, M. Asa S. Kermey a tiré les conclusions suivantes :

1° L'électrisation des graines exerce une influence considérable sur leur germination et le développement de la plantule.

2° L'application d'un courant électrique par courtes périodes accélère la germination de 30 p. 100 après vingt-quatre heures, de 20 p. 100 après quarante-huit heures et de 6 p. 100 après soixante-douze heures.

3° Le maximum de force électromotrice qui se

Digitized by Google

peut employer est de 1 volt pour la germination et de 3 volts de courant induit pour l'accroissement de la tigelle et de la racine.

4° L'effet est surtout sensible durant les vingt-quatre premières heures.

5° L'effet sur le développement des tiges est de 13 p. 100 inférieur à celui exercé sur la croissance des racines.

Si les effets de l'électricité sur la germination des graines sont maintenant assez bien connus, il n'en va pas de même du mode d'action qui produit ces effets. De toute façon, le rôle de l'électricité est, d'après nous, probablement quadruple :

1° Elle active la vitalité du germe ; la germination de graines très vieilles en paraît la preuve.

2° Elle hâte la transformation chimique des albuminoïdes ; les matières hydrocarbonées (amidon et huiles) qui forment la réserve nutritive renfermée dans les cotylédons subiraient plus rapidement l'appropriation nécessaire à leur assimilation par l'organisme de la plantule.

3° Elle s'accompagne d'un phénomène d'électrolyse et décomposerait l'eau soit des tissus, soit du milieu humectant, en oxygène et hydrogène. L'oxygène ainsi produit activerait la respiration du germe et de la plantule.

Dans le cas de courants d'induction, l'électrolyse pourrait aussi se produire par un effet semblable :

1. A celui des soupapes électrolytiques de Nodon ;

2. A celui du convertisseur de Cooper Hewitt ;

3. A ce qu'on constate lorsqu'on envoie des extra-courants de fermeture et de rupture dans un circuit à grande résistance et qu'il n'y a qu'un seul extra-courant qui traverse le circuit, celui dont la force électro-motrice est la plus élevée. Ce moyen a permis, le fait est bien connu, de charger des accumulateurs avec le secondaire d'une bobine d'induction.

4° Elle dégage par son passage à travers une résistance (les graines) une chaleur qui est avantageuse au développement du germe.

Quoi qu'il en soit du rôle de l'électricité, les effets sont indiscutables : accroissement de la puissance germinative, germination précoce, développement plus intense de la plante, augmentation du rendement, tels sont les résultats que l'expérience a consacrés.

Les moyens de réaliser ces effets ne sont malheureusement pas encore très pratiques. Le jour où nous serons mieux informés sur la nature exacte du phénomène, cet inconvénient disparaîtra et l'agriculture y trouvera un sérieux profit. Il peut, en effet, être utile de hâter la germination, soit pour recueillir des fruits plus précoces et plus abondants, soit pour semer tardivement, sur un terrain précédemment occupé, une culture qui, sans cet expédient, ne pourrait plus mûrir, et même pour obtenir par an, deux récoltes au lieu d'une.

L'électroculture est basée sur les effets favorables qu'exerce l'électricité sur la végétation, effets qui se traduisent :

1° par une surproduction parfois énorme ;

2° Par une récolte de qualité supérieure ;

3° Par une maturité plus précoce ;

L'électroculture par influence indirecte, pratiquée souvent en Amérique, est basée, comme nous l'avons dit, sur les effets de la lumière des lampes à arc sur la végétation. En la pratiquant, on vise à faire vivre la plante aussi activement la nuit que le jour et à lui faire assimiler sans interruption le carbone qu'elle puise dans l'atmosphère.

Cette culture intensive a son point de départ dans des observations de physiologie végétale déjà assez anciennes. En 1861, Hervé Mangon reconnut que la lumière électrique, tout comme la lumière solaire, détermine la formation de la chlorophylle. Huit ans plus tard, en 1869, Prillieux constata que l'absorption et la décomposition de l'anhydride carbonique par les plantes se faisaient parfaitement sous la lumière de l'arc voltaïque.

Ces observations furent confirmées, en 1880, en Angleterre, par M. C. Siemens qui remarqua, en outre, que les plantes souffraient et s'étiolaient sous les rayons directs des lampes à arc, mais que l'interposition d'une paroi de verre suffisamment épaisse faisait disparaître ce grave inconvénient. Des constatations analogues furent faites en 1881, par Schraier et en 1890-91, par L. Bailey, de l'Université de Cornel. Ce dernier trouva, de plus, que la lumière des lampes à arc occasionnait une fructification très précoce et que, renfermé dans un globe, l'arc voltaïque contribuait puissamment au développement des parties aériennes, les parties souterraines semblant, par contre, en souffrir. Enfin, d'après le même savant, l'arc voltaïque

Digitized by Google

exercerait une influence curieuse sur la couleur de certaines fleurs et de certains fruits.

Parmi les dernières expériences, il faut citer celles faites en 1892, par M. C. Bonnier, qui s'est proposé d'étudier les modifications de structure dans les plantes ligneuses et les plantes herbacées soumises à la lumière électrique continue ou discontinue (douze heures sur vingt-quatre). Il a constaté, chez les végétaux ligneux soumis à un éclairage continu, des modifications de structure considérables dans les parties végétatives de la plante, c'est-à-dire dans les feuilles et les jeunes tiges. Les végétaux ainsi obligés d'assimiler et de transpirer jour et nuit, ont paru gênés par cette continuité de l'action lumineuse. La structure de leurs tissus est devenue plus simple. Chez les végétaux soumis à l'éclairage discontinu, la structure s'est, au contraire, rapprochée de la normale.

Les expériences sur les plantes herbacées ont donné des résultats plus marqués. Elles ont été effectuées par un éclairage continu de sept mois, l'arc étant naturellement sous verre pour éliminer les rayons ultra-violets qui manquent à la lumière solaire et sont nuisibles à la végétation. Les plantes ainsi traitées se sont distinguées par leur grand développement et leur verdissement intense; leur structure fut d'abord très différenciée. Après quelques mois, elles s'adaptèrent, mais présentèrent de remarquables modifications de structure dans leurs divers tissus qui, sans être moins riches en chlorophylle, furent moins différenciés.

Toutefois, ces expériences ont montré que certaines plantes dépérissent même sous la lumière solaire discontinue. D'autres, par contre, se développent avec exubérance sous la lumière continue sous verre. Elles sont remarquables par le verdissement intense du feuillage et la coloration foncée des fleurs. Les catégories qui se sont le mieux adaptées sont les plantes bulbeuses, les graminées issues de germination, les espèces arborescentes et les plantes submergées.

Terminons cette série d'observations par celles faites récemment par M. Couchet, sur les platanes des promenades de Genève. En décembre 1901, M. Couchet remarqua que dans tous les endroits où ces platanes recevaient la lumière des lampes électriques, la partie de leur feuillage exposée aux rayons lumineux restait parfaitement verte et se maintenait, alors que le reste de la couronne était complètement dénudé.

Jusqu'à présent, l'influence des radiations de la lumière électrique est encore, en dépit des expériences, très discutée; la variabilité des résultats semble due aux conditions expérimentales. De toute façon, au point de vue agricole, le système revient à une suralimentation de la plante. En effet, nous venons de le voir, sous l'influence de l'arc électrique aussi bien que sous la lumière solaire, les plantes forment de la chlorophylle et à l'aide de cette chlorophylle, décomposent l'anhydride carbonique CO^2 en oxygène qu'elles rejettent dans l'air et en carbone qu'elles retiennent. Or le carbone qu'elles absorbent de cette façon leur sert de nourriture. Mettre la chlorophylle en demeure d'agir jour et nuit, revient donc à forcer la plante à assimiler sans interruption du carbone, à se suralimenter par conséquent. Avec quelques précautions, on y réussit.

L'électroculture par influence directe est fondée sur l'influence bienfaisante que l'électricité, soit artificiellement produite, soit naturellement contenue dans l'air, exerce sur la végétation. Dans ce système, la plante et la terre sont électrisées.

Cette influence bienfaisante de l'électricité est désormais un fait indéniable. Si on le contestait encore, je n'en voudrais pour preuves que les observations et expériences qui vont suivre :

On a, tout d'abord, remarqué que dans les régions polaires, notamment au Spitzberg, au nord de la Norwège et dans la Laponie finlandaise, les plantes de culture, lorsqu'elles échappent à l'influence désastreuse des gelées nocturnes, acquièrent un développement qui surpasse de loin celui des plantes du même genre dans les régions plus méridionales et sous des cieux plus cléments. Ainsi, il n'est pas rare qu'un hectolitre de seigle en rapporte dans ces froides régions quarante; un hectolitre d'orge, vingt. Ces résultats s'obtiennent bien que les labours soient peu développés et les instruments rudimentaires. Au nord de la Laponie finlandaise, on n'employait, il y a une dizaine d'années, que des charrues et des herses de bois, sans la moindre pièce de fer. On a remarqué, d'autre part, qu'il existe en Finlande une varia-

Digitized by Google

tion périodique dans les résultats des récoltes et qu'elle coïncide avec les variations des taches solaires et des aurores boréales. Il faut donc reconnaître une influence considérable sur la végétation aux aurores boréales ou, plus exactement, aux courants électriques de l'atmosphère qui en sont cause.

Les expériences de MM. Grandeau et Leclercq viennent appuyer cette explication. Ces deux investigateurs entourèrent des plantes d'une cage de fil métallique dans le but d'empêcher l'action de l'électricité atmosphérique. Ils constatèrent que, dans ces conditions, une influence très considérable s'exerçait sur la végétation. Des expériences comparatives faites par ces mêmes chercheurs ont accusé, lorsque l'électricité de l'air a libre accès auprès de la plante, un excédent de récolte de 50 p. 100 à 70 p. 100 pour les feuilles et les tiges, de 50 p. 100 à 60 p. 100 pour les graines et les fruits.

Voici, en dernier lieu, une expérience du physicien Selim Lemstroem, professeur à l'Université d'Helsingfors, montrant l'influence heureuse de l'électricité. M. Lemstroem dispose, dans trois compartiments séparés, des pots de fleurs dont la terre est identique et les ensemence chacun de graines absolument semblables. Toutes les précautions sont, en outre, prises pour que les pots soient tous dans des conditions de chaleur, d'éclairage et d'humidité identiques. Au-dessus des pots du compartiment est suspendu un réseau de fils électrisés positivement; dans le compartiment 2 est un réseau de fils électrisés négativement; enfin, le 3e compartiment est exempt d'influence électrique. L'expérience ainsi réalisée a produit un excédent de 10 p. 100 pour les compartiments électrisés.

La question de l'influence tranchée, il reste à déterminer d'abord le moyen à la fois le plus économique et le plus efficace pour réaliser l'électroculture; ensuite, la nature exacte des effets que l'électricité produit sur la végétation.

L'électricité de l'air étant gratuite, c'est d'abord elle que les agronomes devaient songer à utiliser. Aussi est-ce par une tentative pour la capter que l'électroculture débute.

Le premier appareil inventé à cette fin, fut l'électro-végétomètre de M. Bertholon de Saint-Lazare. L'instrument se composait d'une perche surmontée d'un manchon de verre dans lequel était soudée à la gomme laque une tige de cuivre verticale terminée par un balai de fils de cuivre. Une chaîne reliait la tige à une autre tige, celle-ci horizontale, également isolée de la perche. Cette tige horizontale était divisée à son tour en deux parties glissant l'une sur l'autre, de sorte qu'elle s'allongeait à volonté. Elle se terminait par deux balais métalliques tournés vers le sol. Les résultats furent médiocres.

Ce ne fut que bien longtemps après que le Russe Spechniew inventa un nouvel appareil destiné au même but. Il se composait de poteaux bien isolés uniformément répartis dans le champ et surmontés de couronnes métalliques avec pointes de cuivre doré. Un réseau de conducteurs réunissait les poteaux. Le champ se trouvait donc surmonté d'un réseau chargé positivement.

M. Spechniew obtint ainsi des surproductions de 28 p. 100 pour le seigle; 56 p. 100 pour le blé; 62 p. 100 pour l'avoine; 55 p. 100 pour l'orge; 25 p. 100 pour les pois; 11 p. 100 pour les pommes de terre; 34 p. 100 pour le lin.

Quelques années plus tard, M. Lagrange, professeur à l'école militaire de Bruxelles, fit des expériences beaucoup plus simples. Lagrange se contenta d'enfoncer, à 15 cm de profondeur, entre les plantes, de petits paratonnerres ne dépassant la surface du sol que de 50 cm. Ils étaient formés de fils de fer galvanisé pourvus de pointes. Les résultats furent très beaux. Nous y reviendrons en parlant de la seconde catégorie de méthodes.

Un autre appareil basé sur les mêmes principes, mais qui a fait un peu plus parler de lui, est le géomagnétifère du F. Paulins. Il se compose d'une perche pourvue d'une tige métallique terminée par un balai de cuivre, telle l'aigrette d'un paratonnerre. Des fils de fer partent ensuite de la tige et se ramifient dans le sol. Il ne faut que 4 géomagnétifères par hectare, ce qui représente une dépense de première installation de 200 fr. Le géo a, de plus, l'avantage de n'être pas délicat et de résister plusieurs années. On dit beaucoup de bien des résultats qu'il donne. Il ne supprime naturellement pas, comme aucun autre système, du reste, la nécessité d'amender le sol. Un champ de pommes de terre de 32 m², à Merlieu, pourvu d'un géo, produisit 90 kg

Digitized by Google

contre 61 donnés par un autre sans géo. En 1894, on constata, en Norwège, un surcroît de 11,25 p. 100 en poids et 3 p. 100 en fécule. En 1891, des vignes à Ecotay donnèrent des raisins très riches en sucre et en moût, dont la maturité fut avancée et régulière. L'année suivante, des expériences faites sur un champ d'épinards à Vals, accusèrent une surproduction de 24,400 kg contre 19,700 kg sur une surface de 5,40 m² et de 13,200 kg contre 10,400 sur une autre de 2,2 m². Une culture de betteraves, à Orchies, donna une surproduction de 9 p. 100. Enfin, M. Pinot de Moirat a attesté que, depuis l'emploi du géo Paulins, les pommes de terre poussent trois semaines plus tôt et donnent des excédents de 50 p. 100. Le même excédent se produit pour les fèves et les pois. Les figues et les raisins ont parfaitement mûri malgré le climat froid de Clifton.

Le plus récent en date des appareils de cette catégorie est celui de M. J.-O. Narkewitsch-Yodko. Il consiste en une perche de 8,50 m à 10,50 m portant à son sommet des pointes de cuivre nickelé. Ces pointes sont reliées à leur base par un fil descendant dans le sol ; là, ce fil rayonne dans toutes les directions et se termine par des plaques de zinc enterrées à quelques centimètres de profondeur. Il faut 10 à 15 de ces perches par hectare ; ce qui fait un coût total de 40 fr. Les résultats n'ont pas été très favorables pour l'orge et la pomme de terre ; pour les fruits, par contre, la production s'est parfois élevée de 312 à 525 kg.

Les méthodes utilisant l'électricité dynamique sont peu nombreuses. Elles tirent profit du courant que produisent des plaques de zinc et de cuivre enterrées, en plus ou moins grand nombre, dans le champ et extérieurement reliées par des conducteurs isolés ou non. Expérimenté d'abord par M. Spechniew, ce système lui donna des résultats favorables. Lagrange le reprit plus tard, mais fit usage, pour les fils, d'isolateurs de porcelaine. Les résultats qu'il obtint furent cependant inférieurs à ceux donnés par le système de paratonnerre dont nous avons parlé précédemment. Lagrange avait divisé un terrain de sol et d'exposition identique en trois parties. La première fut cultivée par le système dynamique ; la seconde par le système ordinaire ; la troisième par le système de l'électricité atmosphérique.

La récolte du troisième champ fut plus belle que celle des deux autres et mûrit quinze jours plus tôt. On retira du champ cultivé par la méthode ordinaire 80 kg de pommes de terre ; le troisième donna 163 kg et le premier (méthode dynamique) 60 kg. Mais, dans ce dernier, les feuilles et les fleurs furent plus précoces et plus développées. Le système semble donc surtout favorable pour les légumes à feuillage. La méthode dynamique fut encore reprise par Narkewitsch-Yodko, mais les conducteurs, au lieu d'être isolés, reposaient sur le sol. Le succès ne fut pas très considérable.

A notre connaissance, il n'y a que M. Selim Lemstroem qui ait fait des essais avec les machines statiques. Ses premières investigations dans cette partie remontent à 1885. Elles se sont poursuivies jusqu'à nos jours.

L'appareil employé se compose d'un réseau de fils conducteurs supporté par des poteaux avec isolateurs. Les fils sont distants de 1 m et munis tous les 50 cm d'une tige métallique dirigée vers le sol. Le réseau entier est parcouru par le courant positif d'une machine statique dont le négatif communique avec le sol. La machine fonctionne de sept à huit heures par jour.

Pour ses dernières expériences, M. Lemstroem s'est servi d'un courant fourni par une machine statique de son invention. Cette nouvelle machine, qui est à cylindres, l'emporte sur toutes les autres ; d'abord, parce que, pour une même quantité de travail, elle fournit trois à quatre fois plus d'électricité ; ensuite, parce qu'elle permet d'accélérer fortement la rotation et, par là, d'alimenter un réseau métallique d'une plus grande surface. De plus, elle est moins sensible à l'humidité que les anciennes machines et peut fonctionner deux ou trois mois sans beaucoup de nettoyage. Les cylindres qui entrent dans sa construction ont 30 cm de diamètre et 40 cm de longueur. Le petit cylindre intérieur est d'un diamètre moindre et d'une longueur légèrement inférieure à celle du grand. Dans les dernières expériences, la machine fonctionna habituellement quatre heures le matin (de sept à onze) et quatre heures l'après-midi (de quatre à huit). L'uniformité complète n'a pourtant pu être réalisée, car durant les jours de grande humidité, la machine ne fonctionna pas. Par contre, elle marcha plus longtemps lorsque le ciel était couvert et que le rayonnement solaire ne rendait pas

Digitized by Google

l'emploi de l'électricité pernicieux à la végétation. Le réseau métallique relié à la machine était disposé autour des champs de la manière suivante : un fil de fer galvanisé de 1,5 mm placé sur des supports, faisait le tour des champs ; sur ce fil étaient tendus d'autres fils de 0,5 mm, à la distance de 1,25 m les uns des autres. Le gros fil était fixé à ses supports par des isolateurs d'ébonite bien protégés et spécialement inventés dans ce but par l'auteur des expériences.

En 1898, après cent soixante-quatre heures de traitement, un champ de tabac ainsi traité montra une différence de développement très considérable. Les excédents de récolte furent cette année de 39 p. 100 pour le tabac, de 8,7 p. 100 pour les carottes, de 11,3 p. 100 pour les betteraves, de 11,1 p. 100 pour les fèves.

Voici les excédents de 1899: avoine, 28,7 p. 100; orge, 23 p. 100; carottes, 37,5 p. 100; pommes de terre, 50 p. 100.

Les pois et les choux accusèrent des déficits respectivement de 7,5 p. 100 et 19 p. 100.

Les excédents de 1900 ont été plus élevés :

Orge, 26,4 p. 100; pois, 55,7 p. 100; pommes de terre, 17 p. 100; fraises, 88,7 p. 100; betteraves à sucre, 42,2 p. 100; carottes, 92,7 p. 100; fèves, 33,3 p. 100.

Les essais effectués sur les céréales, en 1899, ont montré que la germination était plus promte; que les plantes étaient plus vigoureuses et la récolte de meilleure qualité. L'excédent de grains de première qualité fut de 26,9 p. 100 pour le froment, et de 32,1 p. 100 pour le seigle.

De toutes les expériences qu'il a faites, M. Lemstroem croit pouvoir dégager les quelques propositions que voici :

a. La proportion dans laquelle les plantes se sont accrues peut s'estimer à 45 p. 100.

b. Cette proportion est en raison directe de la fertilité du sol.

c. Certaines plantes ne supportent le traitement électrique que si elles sont bien arrosées. Leur surproduction est alors très notable.

d. Le traitement électrique est nuisible pendant les fortes chaleurs solaires; il doit alors être interrompu au milieu du jour.

Un autre moyen, à notre avis, très efficace et simplifiant singulièrement le procédé, serait la méthode que nous proposons ci-après :

Elle consiste à placer dans le champ un oscillateur avec antenne. Le courant est recueilli, par induction, au moyen de tiges métalliques, en fil de fer galvanisé, par exemple, et, en même temps, par les plantes elles-mêmes qui font alors l'office d'antennes. On provoque, de la sorte, l'électrisation et des terres et des plantes. Ce moyen aurait sur les autres le grand avantage d'être simple, pratique et peu coûteux.

Les ondes électriques employées en télégraphie sans fil ne se bornent donc pas, on le voit, à transmettre au loin, sans conducteurs, notre pensée; elles peuvent encore exercer sur les plantes, une influence heureuse et bienfaisante.

Les effets avantageux de l'électroculture sont désormais indéniables; mais, quoique évident, le rôle de l'électricité n'est pas encore bien défini. Il est, de toute façon, complexe et peut, d'après nous, se résumer comme suit :

L'électricité électrolyse les sels contenus dans le sol, les décompose et en recompose d'autres plus assimilables par les plantes. D'autre part, elle active la vitalité et, comme telle, favorise les échanges gazeux entre les feuilles et l'atmosphère; elle active la respiration, la fixation du carbone, la transpiration, la nutrition et la multiplication des cellules; enfin, elle agit sur l'ascension de la sève en activant l'osmose et en faisant monter les sucs dans les vaisseaux capillaires des tissus. Cette dernière particularité a été mise en évidence par une petite expérience de M. Lemstroem. Lorsqu'un tube capillaire, préalablement humecté à l'intérieur, plonge dans un baquet d'eau en communication électrique avec le sol et qu'une fine pointe métallique, reliée au négatif d'une machine à influence, est placée au-dessus du tube capillaire, on constate, dès que la machine fonctionne, qu'il se forme des gouttelettes d'eau dans la partie supérieure du tube. L'eau monte donc le long des parois du tube capillaire. Le même phénomène doit se produire dans les vaisseaux capillaires de la plante lorsqu'elle est soumise au courant électrique. Il se produit alors une augmentation de l'énergie qui fait circuler la sève. Bien entendu, ce n'est que le courant électrique négatif allant du sol vers les pointes du réseau qui exerce cette action. Le courant positif amène à la plante les divers éléments de l'atmosphère et les introduit dans les tissus pour y être assimilés. Il serait donc avantageux d'employer un courant alternatif. A ce point de vue, notre système sans fil et à ondes

Digitized by Google

hertziennes nous semble convenir pleinement.

Tels sont, en quelques mots, les renseignements les plus certains que nous possédions à ce sujet. Mais il est probable que le rôle de l'électricité sur les plantes est bien plus considérable qu'on ne le soupçonne. De nouvelles méthodes d'investigation nous renseigneront quelque jour.

Comme on s'en rend compte par le peu que nous en avons dit, l'idée de l'électroculture est excellente et pleine d'avenir : les résultats le prouvent. Les moyens pratiques de la mettre en œuvre, nous voulons dire les moins coûteux et les plus profitables, voilà ce qui reste à étudier et à découvrir. La solution ne saurait tarder : l'agriculture y a un intérêt trop considérable. Il est à souhaiter que l'emploi de l'électricité dans l'agriculture y apporte les mêmes bienfaits que la fée électricité a apportés dans toutes les industries où elle a pénétré.

Son entrée dans l'agriculture ne pourra qu'avoir un contre-coup heureux dans les autres industries qui, plus ou moins directement, sont ses alliées ou ses tributaires.

E. Guarini.

Effet d'écran des gaz vis-à-vis des oscillations électriques, par **E. Lecher**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 32-39, oct. 1902.

L'effet d'écran des gaz vis-à-vis des oscillations électriques permet d'évaluer leur conductibilité.

Au moyen d'une bobine d'induction pouvant donner 40 cm d'étincelle, on produit un arc alternatif entre les pôles d'un fort électro-aimant. En dérivation sur cet arc se trouve un condensateur C (fig. 1) et un commutateur avec lequel on peut envoyer les oscillations dans un circuit I ou dans un circuit II.

Le circuit I sert à vérifier la constance des oscillations ; sur un vase de Bohême (haut de 12 cm sur 5 de diamètre) sont enroulées 4 spires d'un fil de cuivre bien isolé de 3 mm de diamètre, dont les extrémités sont reliées d'une manière permanente à r, r. Dans le milieu de ce verre en est disposé concentriquement un autre plus étroit (2,5 cm de diamètre). Dans celui-ci est introduit un noyau cylindrique d'ébonite, portant 10 spires de fil de cuivre isolé, enveloppées de papier paraffiné et par-dessus d'un cylindre de cuivre fendu suivant sa longueur et relié au sol. Les deux vases sont remplis d'huile de vaseline. L'ensemble forme une petite bobine d'induction.

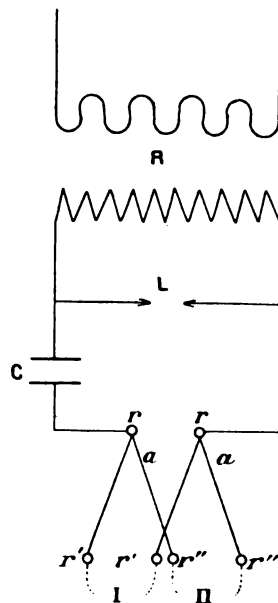


Fig. 1.

Le circuit II est formé d'une bobine secondaire (fig. 2), ayant les mêmes dimensions que celle du circuit I : elle est plongée dans un vase

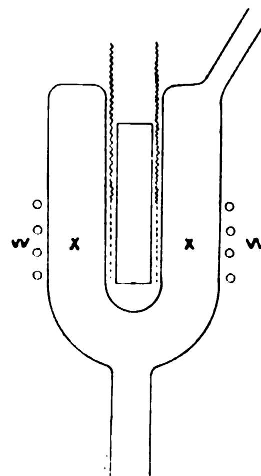


Fig. 2.

de verre ayant la forme d'un calorimètre de Bunsen et rempli d'huile de vaseline. Sur l'extérieur sont enroulées 4 spires de gros fil W : l'intérieur du vase peut être rempli de liquide ou de

Digitized by Google

gaz. La méthode de mesure consiste à trouver un électrolyte qui exerce le même effet d'écran que le gaz.

Pour mesurer l'intensité des oscillations, on peut employer deux procédés, ou bien se servir d'un électrodynamomètre ou bien mesurer à l'aide d'un couple thermo-électrique la chaleur dégagée dans un fil faisant partie du circuit.

On peut construire les courbes dont les ordonnées représentent les conductibilités de l'air et les abscisses la pression. Dans chacune des courbes construites en prenant comme longueurs d'étincelles 1,5, 0,5 et 0,3 cm, les ordonnées pour les pressions et 760 mm sont sensiblement égales (fig. 3).

La déviation de l'électrodynamomètre est la

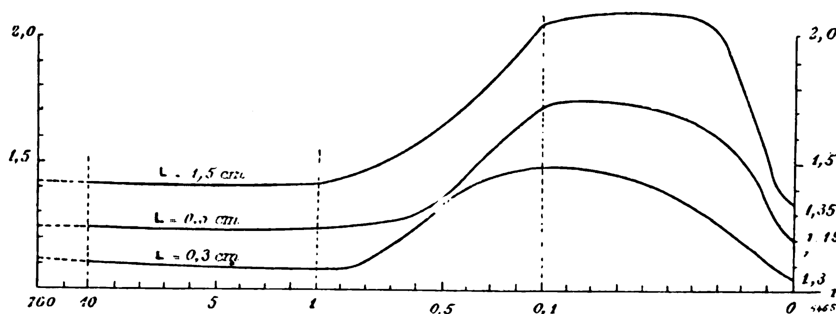


Fig. 3.

plus petite quand la longueur L de l'étincelle est 1,5 cm, la plus grande quand cette longueur est 0,3 cm. C'est l'inverse pour la luminescence du gaz. C'est parce que dans le premier cas l'amplitude est plus grande, tandis que dans le second cas l'amortissement est plus petit et par suite l'énergie totale des oscillations plus grande.

La variation de l'absorption est représentée par les courbes de la figure 4.

L'absorption paraît plus grande dans l'air à 760 mm que dans le vide et aussi un peu plus grande que dans l'air à 1 mm. Pour cette dernière pression, les courbes présentent toutes trois un minimum qui est visible surtout sur la

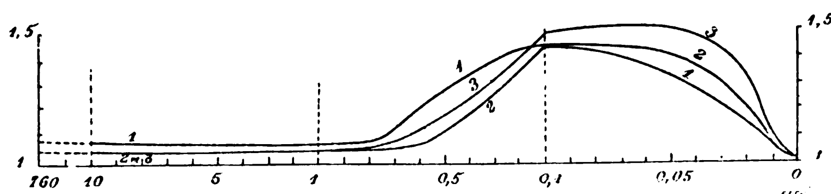


Fig. 4.

courbe qui correspond à L = 1,5 cm. L'absorption passe par un maximum pour une pression voisine de 0,1 mm : ce maximum a la même valeur environ, 4 p. 100 sur les trois courbes.

Aux pressions de 2 à 0,3 mm, le gaz s'illumine non pas immédiatement, mais au bout de quelques secondes tout d'un coup. La luminescence se maintient ensuite.

Aux pressions un peu plus basses, la luminescence se produit tout de suite et à coup sûr. Enfin quand la pression est très faible, au-dessous de 0,01 mm, la luminescence est souvent vacillante et s'éteint ensuite définitivement.

Il ne semble pas, malgré les affirmations de certains observateurs, que la conductibilité et la luminescence du gaz soient liées l'une à l'autre. La manière d'observer est ici tout autre. L'effet électrostatique des parois de verre donne naissance à de nombreux ions, qui entrent en mouvement sous l'influence des forces produites par l'induction. Par leurs chocs contre les molécules ces ions mettent en liberté d'autres ions et les oscillations qui se produisent rendent le gaz luminescent lorsque leur intensité est suffisante. L'énergie dépensée est transformée d'une part en travail d'ionisation, d'autre part en chaleur.

Digitized by Google

On conçoit donc que suivant la proportion relative de ces deux termes, pour une même absorption, la luminescence puisse être plus ou moins intense.

L'absorption augmente quand on amène au voisinage immédiat de l'étincelle de l'air ionisé. Il reste à étudier l'action des rayons de Becquerel et des rayons ultraviolets; et aussi les gaz des flammes.

On compare l'absorption du gaz à celle de l'acide sulfurique étendu ; le pouvoir inducteur considérable de l'eau ne paraît pas entraîner d'erreur appréciable.

A la pression de 0,1 mm, l'air est plus conducteur que les électrolytes les plus conducteurs. Le maximum de conductibilité correspond à des pressions comprises entre 0,3 et 0,05 mm. Ces pressions régneraient dans l'atmosphère entre 54 et 66 km de hauteur, il est peu probable qu'à ces hauteurs, l'ionisation provoquée par les rayons ultra violets du soleil est très énergique. Il est donc très vraisemblable que dans ces couches supérieures toutes les oscillations de grande longueur d'onde sont abordées.

Les autres gaz donnent à peu près les mêmes résultats que l'air. L'absorption est prononcée surtout dans l'éthylène par suite d'une réaction chimique

Discussion. — Kaufmann ne croit pas qu'on puisse comparer immédiatement ce qui se passe dans les hautes régions de l'atmosphère à ce qu'on observe dans les tubes à gaz raréfié.

Puluj. Il est peu probable que les dimensions du vase aient une influence sur la conductibilité au moins directement; leur effet apparent provient de l'humidité adhérente aux parois. M.L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (1).

Sur l'électrolyse avec courants alternatifs, par le professeur Dr **Le Blanc**, de Carlsruhe, d'après des recherches de **Karl Schick**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 636, 6 août 1903.

Les recherches entreprises ici ont été occasionnées par le brevet allemand 105077 de 1898, pris par Richards et Röpper, qui indique que le sulfure de cadmium peut être obtenu avec un bon rendement en électrolysant avec un courant alternatif une solution de thiosulfate entre des électrodes de cadmium.

Avec le courant alternatif, pendant une demi-période, CdS doit se former à l'électrode, à la demi-période suivante, ce sulfure doit être décomposé par l'hydrogène.

Les auteurs ont trouvé qu'en prenant un courant alternatif de 1 000 périodes par minute et une densité de courant de 4,6 ampères par décimètre carré, le rendement est très faible, mais qu'il croît lorsque la fréquence diminue. Il atteint environ 75 p. 100 pour la fréquence une période par minute, mais seulement en agitant fortement, ce dont le brevet précédent ne fait pas mention. En employant le courant continu on obtient le CdS quantitativement, à l'aide d'une bonne agitation. Avec les courants alternatifs, la couleur de ce sulfure est d'autant plus vive que la fréquence est plus grande. On peut déjà tirer de ces recherches que le sulfure de cadmium est réduit cathodiquement et que si le rendement est plus élevé avec les faibles fréquences, c'est que, par l'agitation, le sulfure est éloigné de l'électrode et par conséquent à l'abri de la réduction.

L'expérience suivante démontre bien ces affirmations : deux éléments avec électrodes de cadmium sont remplis l'un de thio-sulfate, l'autre d'une solution binormale d'acétate de sodium faiblement acide ; on dispose ces éléments en tension et on électrolyse.

Dans la solution d'acétate, le cadmium se dissout quantitativement avec le courant continu, et il ne se précipite à la cathode que quelques centièmes de cadmium. Electrolysant les deux solutions avec courant alternatif (même fréquence et même agitation pour les deux), on trouve qu'au-dessus de 1 000 périodes par minute la perte des électrodes est très faible et

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 398, 5 septembre 1903 et t. XXXVII, p. 37, 3 octobre 1903.

Digitized by Google

qu'elle augmente jusqu'à 100 p. 100 en diminuant la fréquence (voir la fig. 1). Au-dessus de 1 000 périodes par minute, la diffusion et l'agitation n'agissent pas suffisamment vite pour éloigner de l'électrode le cadmium dissous qui se reprécipite alors à la demi-période suivante. L'argent et le zinc donnent les mêmes phénomènes.

L'objection que le cadmium engagé à l'état de CdS insoluble ne se sépare plus est réfutée

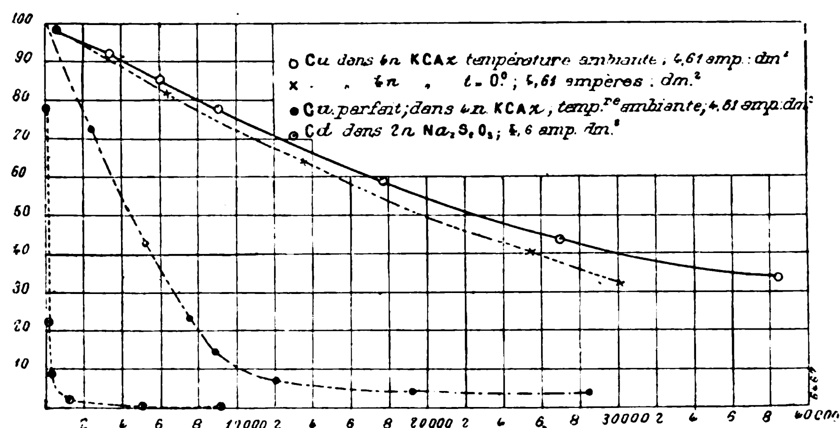


Fig. 1

par ce fait qu'une électrode recouverte de sulfure de cadmium est très facilement réduite cathodiquement.

Des recherches avec courant alternatif ne peuvent rien indiquer quant à la vitesse de formation des précipités solides, mais elles peuvent servir à la détermination des vitesses de réaction en solution.

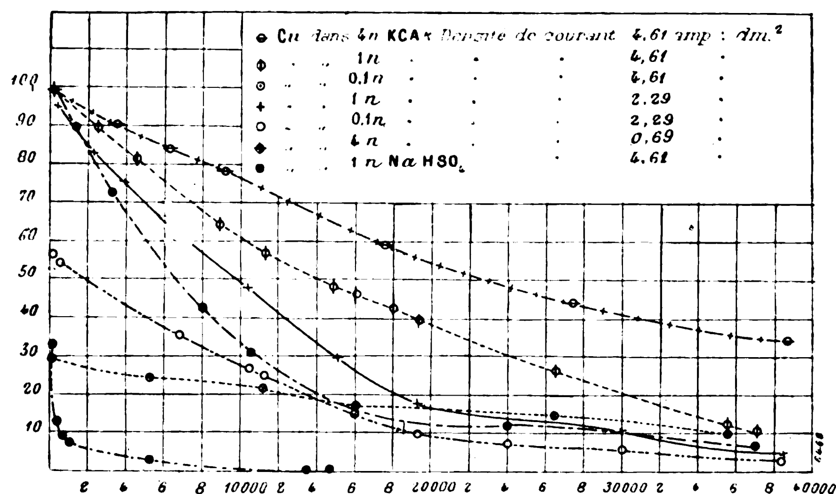


Fig. 2.

Si on électrolyse avec courant alternatif une solution de cyanure de potassium entre électrodes de cuivre, celui-ci ne se sépare plus une fois passé à l'état d'ions complexes et c'est l'hydrogène qui se dégage à cause de la faible concentration du cuivre. Mais si le cuivre n'est pas encore entré en combinaison avec le cyanogène, il se sépare à nouveau à la demi-période suivante.

Si on trouve ainsi que pour une fréquence déterminée, les électrodes de cuivre se dissolvent dans la solution de cyanure de potassium en quantité correspondant à la loi de Faraday, on peut en conclure que le temps d'une demi-

Digitized by Google

période est suffisant pour la réaction de la combinaison du cuivre avec le cyanogène. Mais s'il ne se dissout pas de cuivre, c'est-à-dire si le cuivre entré en solution pendant une demi-période se dépose pendant la demi-période suivante, c'est que le temps d'une demi-période n'a pas suffi pour la formation de l'ion complexe.

La disposition des essais était la suivante : le courant alternatif était obtenu à l'aide d'un courant continu et d'un commutateur tournant dont on variait la vitesse à volonté. Dans la partie du circuit traversé par le courant continu, se trouvait un ampèremètre, un voltamètre à cuivre et une résistance réglable ; dans l'autre partie on plaçait un ampèremètre à fil chaud.

Les deux électrodes étaient écartées d'environ 1 cm et plongeaient de 5 cm dans 100 ou 250 cm³ de liquide. Leur revers était recouvert de paraffine. L'agitation était obtenue par un courant d'hydrogène traversant la solution. Chaque essai durait 15 minutes. La fréquence variait entre 1 et 40 000 périodes par minute.

On électrolysait d'abord deux électrodes de cuivre dans une solution binormale de bisulfate de sodium. Il était à prévoir que le cuivre qui ne forme aucun ion complexe dans le bisulfate

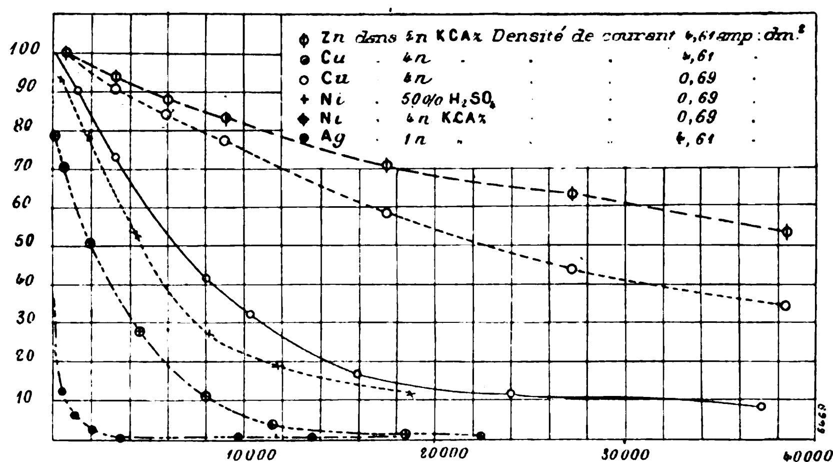


Fig. 3.

ne devait subir aucune altération. Ceci se confirmait, car au-dessus de 2 000 périodes par minute, il ne se dissolvait que quelques p. 100 de cuivre à la densité de courant 4,6 ampères par dm². Avec 14 000 périodes par minute, il n'y avait que quelques dixièmes p. 100 (voir la figure 2).

En prenant une solution 4 fois normale de cyanure de potassium, et une densité de courant 4,6 ampères par dm² le cuivre entrait en solution quantitativement, comme avec le courant continu, pour une fréquence de 700 périodes par seconde et il se dégageait la quantité équivalente d'hydrogène. A la fréquence de 3 400 périodes par minute, il entrait 90 p. 100 de cuivre en solution. On obtenait respectivement 58 et 33 p. 100 avec les fréquences 17 600 et 38 600 périodes par minute (figures 1 à 3).

Si on diminue la concentration ou la densité de courant, la quantité de cuivre qui reste en solution est moindre. Dans une solution décinormale de cyanure et à la densité de courant 2,3 ampères par dm², il ne reste que quelques centièmes de cuivre en solution à la fréquence 30 000 périodes par minute. La concentration de cyanure devenant trop faible, le cuivre n'entre pas davantage en solution pour les faibles fréquences, ainsi que le montre la courbe pour 0,1 *n* KCAz (fig. 2). C'est qu'en effet la quantité de molécules KCAz dans le voisinage de l'électrode ne suffit pas pour les grandes quantités de cuivre portées en solution par les faibles fréquences.

Pour les grandes fréquences, les électrodes de cuivre se comportent pareillement dans les solutions étendues et dans les solutions concentrées. La figure 2 montre que ces courbes se coupent.

Il résulte de ces expériences que la vitesse avec laquelle réagissent les ions-cuivre est très grande. On peut dire que si les ions-cuivre s'unissent en concentration 0,1 normale avec

Digitized by Google

KCAz de concentration 4 ou 1 normale, la quantité totale d'ions-cuivre s'est combinée au cyanure de potassium en 1/1000 de minute. Par extrapolation, on trouve que pour une solution 4 fois normale de cyanure de potassium et avec une densité de courant 4,6 amp. par dm^2, il ne rentre plus de cuivre en solution pour une fréquence de 80 000 périodes par minute. L'auteur trouve que si les ions-cuivre s'unissent en concentration de 1/800 normale avec le cyanure de concentration 4 ou 1 fois normale, la réaction a commencé à peine après 1/80 000 de minute. Ces deux valeurs limites donnent une idée de la vitesse de réaction.

D'autres essais ont été effectués avec quelques autres métaux qui se dissolvent spontanément dans le cyanure de potassium avec dégagement d'hydrogène, comme le zinc et le nickel. L'argent diffère de ces métaux car il se sépare de la solution de cyanure avant l'hydrogène ; il se comporte par conséquent comme le cuivre dans une solution de sulfate de sodium. De petites variations de température paraissent sans action notable sur ces mêmes métaux. Un essai effectué avec le cuivre à la température o degré C montre que la vitesse de réaction n'a pas un grand coefficient de température (fig. 1).

L'auteur expose encore deux autres façons d'expliquer ces recherches.

On admet d'après les considérations ci-dessus que la vitesse de formation des ions, c'est-à-dire le passage du métal à l'état d'ions, est infiniment grande ; pour les fréquences inférieures à 2 000 périodes par minute, cela est exact parce que la dissolution a lieu quantitativement. Mais pour les plus grandes fréquences, on peut supposer que le cyanogène se sépare au lieu de supposer que le cuivre se dissout et que la demi-période suivante sert uniquement à ramener ce cyanogène à l'état d'ions, une partie du courant servant à la décharge de l'hydrogène. De cette manière, le cuivre peut être considéré comme tout à fait passif de même que le platine qui, comme on sait, ne présente plus aucune variation pour une fréquence de 2 000 périodes par minute. Cette opinion peut être appuyée par ce fait que le cuivre se comporte différemment d'après ses états antérieurs.

Du cuivre chauffé au rouge et réduit dans l'alcool devient bien plus rapidement semblable au platine (fig. 1) ; mais il reprend sa nature normale après traitement par le courant continu ou par les courants alternatifs de basse fréquence. Dans cet état normal, l'hypothèse de la séparation du cyanogène n'est pas invraisemblable.

La supposition que, à l'état normal, les métaux ne possèdent pas une vitesse suffisante de formation des ions, ce qui expliquerait les résultats obtenus, tombe devant les faits suivants : 1° l'influence de la concentration du cyanure de potassium ; 2° la façon semblable avec laquelle tous les métaux se comportent ; 3° le fait que le cuivre normal entre quantitativement en solution avec un courant continu intermittent ayant jusqu'à 15 000 intermittences par minute et des pauses de même temps que les périodes de passage de courant.

Une autre explication des résultats trouvés pourrait ête la suivante : avec 20 000 périodes par minute et 4,6 ampères par dm^2, la quantité de cuivre amené en solution par demi-période est 0,0001 mg par cm^2 de surface d'électrode. On peut supposer que pendant une phase, l'hydrogène se sépare pour repasser ensuite à l'état d'ions à la phase suivante. L'action de ces quantités de gaz diminue d'importance lorsque croît la fréquence. En outre, les ions-cuivre formant la couche double peuvent participer à l'action. La diminution du rendement peut être attribuée à ces causes ; mais on devait penser d'après cela, que le rendement reste indépendant de la densité du courant, si on considère seulement que par phase il y a environ 0,0001 mg de cuivre par cm^2 séparé ou redissout ; le rendement devait donc rester le même en employant une faible fréquence et une petite densité de courant ou une fréquence rapide avec une grande densité de courant. Ainsi avec 20 000 périodes par minute et 4,6 ampères par dm^2, la quantité de cuivre engagé par phase étant la même qu'avec 3 000 périodes par minute et 0,7 ampère par dm^2, le rendement devait être le même dans les deux cas ; mais on trouve qu'il diffère de 20 p. 100.

De même dans cette hypothèse, le rendement devrait augmenter avec l'emploi des solutions étendues, ce qui n'est pas le cas.

Il en résulte que la première explication donnée à l'aide des vitesses de réaction est la plus vraisemblable.

Discussion. — F. Krüger signale que la recherche de la capacité de polarisation offre un moyen de déterminer la vitesse de réaction des ions.

Digitized by Google

H. Wohlwill demande si les faits signalés ne pourraient pas être expliqués par le rôle de la diffusion. M. Le Blanc répond négativement, car dans les solutions ne formant pas d'ions complexes on n'observe pratiquement aucune dissolution du cuivre, de 1 à 2 000 fréquences par minute.

L. Jumau.

Sur la cinétique chimique de l'acide sulfurique de contact, par **Bodenstein**, de Leipzig. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 696, 20 août 1903.

Il résulte des courbes de Knietsch que, à 300° point où la réaction contraire est pratiquement nulle, la vitesse de combinaison de SO^2 avec O^2 en présence du platine représente sensiblement une réaction du troisième ordre.

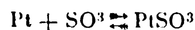
Les recherches de l'auteur ont été effectuées à 246 et 264° C. La vitesse de réaction était mesurée par l'abaissement de pression correspondant à la réaction $2\ SO^2 + O^2$ (3 volumes) $= 2\ SO^3$ (2 volumes). On trouvait que la réaction est de deuxième à troisième ordre. La vitesse est tout à fait indépendante de la concentration de l'oxygène.

La formule suivante permet de représenter le phénomène

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot \frac{C_{(2SO^2)}}{m + C_{(2SO^3)}},$$

m étant une constante égale à 42,7 pour 246° et à 80 pour 264° en exprimant en millimètres de mercure les concentrations $2\ SO^2$ et $2\ SO^3$.

L'explication du mécanisme de la réaction est la suivante : dans tous les cas, SO^2 et O^2 doivent parvenir dans l'endroit où règne la vitesse élevée de réaction (à la surface du platine). Ceci arrive rapidement pour O^2 tant que la concentration C_{O^2} ne devient pas extrêmement faible. C'est pour cela que cette concentration ne joue aucun rôle. SO^2 réagit sur l'oxyde de platine ou sur l'oxygène absorbé déjà par le platine, sous formation de SO_3, avec la vitesse qui est mesurée. Mais pour cette réaction, il ne faut faire entrer en considération que le platine libre et non celui rendu inactif par SO^3. L'équation



$$Pt + SO^3 \rightleftarrows PtSO^3$$

qu'on peut prendre comme représentant non seulement la combinaison chimique, mais encore l'absorption, donne d'après la loi d'action des masses, pour le platine libre

$$\text{Pt. libre} = \frac{\text{Pt. total}}{K + K \cdot C_{SO^3}}$$

Par conséquent, la réaction totale, en supposant que seul le platine libre catalyse, peut se représenter par

$$\frac{dx}{dt} = k \cdot \frac{\text{Pt. total}}{K + K \cdot C_{SO^3}}$$

équation absolument identique à celle trouvée expérimentalement. $m = K$ croît avec la température la combinaison Pt SO^3 se détruit de plus en plus avec la température croissante, l'action troublante de SO^3 devient moindre aux températures élevées.

L. J.

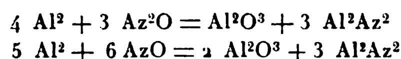
Réactions chimiques aux températures les plus élevées, par le prof. Dr **C. Zenghelis**, de Athen. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 698, 20 août 1903.

L'auteur s'est proposé d'atteindre une température aussi élevée que celle de l'arc électrique, au moyen des réactions chimiques. Il y est parvenu en échauffant d'abord fortement à l'aide d'un feu de coke de la poudre d'aluminium renfermée dans un creuset de Hesse. En faisant passer ensuite un courant rapide d'oxygène, l'aluminium brûle vivement et produit une température d'au moins 4 000° C., ainsi qu'il résulte des réactions suivantes obtenues à cette température.

Une partie de l'alumine formée fond et se vaporise même en donnant un fin sublimé sur le tube de verre. Une tôle de platine épaisse introduite dans le creuset fond et se vaporise vivement. La magnésie et la chaux sont également fondues et en parties vaporisées. Une grande partie de ces oxydes se combinent cependant à l'alumine en formant un aluminate. Le creuset servant à l'opération fond et se perfore par places. L'aluminium en excès fond et donne des globules qui présentent même à l'intérieur un degré de dureté de 7,5 à 8. Une grande partie de l'oxygène employé se transforme rapidement en ozone (formule de van 't Hoff). A la température très élevée ainsi atteinte, l'aluminium se combine directement à l'azote et au charbon et forme de l'azoture et du carbure. D'autre part, il brûle très vivement dans les gaz suivants : H, CO, CO^2, Az^2O, AzO. Il est à remarquer que pendant la combustion dans les oxydes du carbone, il ne

Digitized by Google

se sépare pas de carbone, car l'aluminium se combine à ce corps sous forme de carbure. Dans les oxydes de l'azote, l'aluminium brûle en produisant de l'alumine et de l'azoture d'aluminium d'après les équations



$$4\ Al^2 + 3\ Az^2O = Al^2O^3 + 3\ Al^2Az^2$$
$$5\ Al^2 + 6\ AzO = 2\ Al^2O^3 + 3\ Al^2Az^2$$

L. J.

Sur les substances radioactives, par le prof. Dr **W. Marckwald**, de Berlin. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 698, 20 août 1903.

Le conférencier fait quelques démonstrations avec les préparations de radium et le radiotellure découvert par lui. Il dit être parvenu à un degré de pureté non encore atteint pour ce dernier corps. Celui-ci est obtenu en partant du bismuth radio-actif et en précipitant la solution du chlorure par le chlorure d'étain. L'auteur a trouvé que le précipité ainsi obtenu renferme encore plus de 99 p. 100 de tellure ordinaire. En transformant à l'état de chlorure et en faisant digérer la solution chlorhydrique avec du chlorhydrate d'hydrazine, le tellure inactif se sépare tandis que la substance active reste en solution et après la filtration peut être précipitée par le chlorure d'étain.

En traitant 4000 kg de pechblende, on n'obtient que quelques milligrammes de radiotellure ainsi purifié. Cette substance est extrêmement active. Un filtre qui renferme une quantité à peine pondérable de cette substance porte un écran de sulfure de zinc dans un état de phosphorescence suffisant pour être rendu visible à un nombreux auditoire.

L'auteur montre l'action ionisante exercée sur l'air par les rayons du radiotellure, action identique à celle des rayons X du radium. Il effectue l'expérience suivante : une bouteille de Leyde isolée est placée en regard d'une machine électrique de telle façon que les étincelles peuvent éclater lorsque l'armature extérieure de la bouteille est reliée à la terre. En approchant la substance radioactive à quelques centimètres, la bouteille se charge fortement. D'une manière semblable, on peut obtenir la décharge de la bouteille à travers l'air à l'aide du radiotellure.

Pour obtenir ces actions avec le radiotellure de même qu'avec le radium, il ne faut pas enfermer la matière dans une boîte. Les plaquettes de mica les plus minces arrêtent déjà à tel point les rayons X que l'ionisation de l'air n'a plus lieu d'une façon suffisante. L. J.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Newcastle

Séance du 16 février 1903.

Quelques notes sur les usines génératrices du continent, par **H.-L. Riseley**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 858-871. Juin 1903.

Dans les usines génératrices du continent, dit M. Riseley, les tableaux de distribution et les appareils accessoires occupent généralement beaucoup plus d'espace que dans celles d'Angleterre ; la raison en est qu'on a doublé les circuits et l'appareillage, de façon à n'être pas obligé d'arrêter la marche en cas d'accident survenant en une partie quelconque du tableau.

L'un des meilleurs exemples de ce mode d'installation est fourni par la station centrale de Paderno, à 32 km de Milan. Sept turbines hydrauliques, de 2 160 chevaux chacune, actionnent des alternateurs de 1 590 kilowatts, à la vitesse de 180 tours par minute. Fréquence : 42 périodes par seconde ; tension 13 500 volts. Il n'y a pas de transformateurs. La ligne aboutit à Milan, à l'usine de Porta-Volta, où la tension est abaissée à 3 600 volts, et où des alternateurs à vapeur marchent en parallèle avec la ligne venant de Paderno.

Le tableau de distribution de l'usine de Paderno couvre une surface de 155 m². La partie consacrée aux génératrices comprend neuf panneaux : sept pour les sept alternateurs, et deux pour les wattmètres, le couplage des deux groupes de barres collectrices, etc. Chacun des panneaux d'alternateurs comprend un interrupteur tripolaire à rupture dans l'huile, trois fusibles, un coupleur, un rhéostat de champ, un rhéostat pour l'excitatrice, un transformateur pour appareils de mesure, un voltmètre, un wattmètre enregistreur, un voltmètre de synchronisation et des lampes. On peut accoupler tous les rhéostats ensemble à volonté. La destination des coupleurs est celle-ci : l'usine de Paderno avec la ligne de transmission à Porta-Volta, l'usine génératrice auxiliaire de Milan et les sous-stations doivent pouvoir se séparer à tout moment en deux services distincts ; aussi emploie-t-on deux groupes de barres collectrices, chaque alternateur pouvant être couplé à l'un ou l'autre de ces

Digitized by Google

groupes. Derrière les panneaux d'alternateurs sont placés les tableaux de la ligne de transmission, chaque ligne ayant un tableau spécial. Tous les tableaux sont parfaitement accessibles. Chacun des panneaux peut être isolé des autres, ce qui permet de faire en toute sécurité les réparations et les nettoyages. Selon la pratique généralement suivie sur le continent, les panneaux sont en marbre et en porcelaine, et fixés à des supports de fer; aucune matière combustible n'est employée à leur construction. Les connexions sont établies par des barres rigides, et l'ensemble est simple, symétrique et robuste.

La facilité d'accès de ce tableau et la sécurité qu'il offre pour le dédoublement de tous ses appareils sont ses principaux avantages. Le tableau du type multicellulaire, qui est le plus employé en Angleterre pour les hautes tensions, a l'inconvénient d'être trop compact.

L'auteur étudie encore, au point de vue de la disposition des tableaux, deux autres installations, celle de Kander, près du lac de Thoune (Suisse) et celle du chemin de fer de la Valteline, où l'on a pris des mesures analogues en vue d'assurer la continuité du service. Il conclut ainsi : dans les distributions d'énergie que nous avons à installer aujourd'hui, il est absolument nécessaire de maintenir à tout prix les barres collectrices chargées, quelles que soient les perturbations qui surviennent en dehors de la station centrale. Or, c'est aux fusibles que sont dues le plus souvent ces perturbations, d'autant plus qu'on est arrivé à employer aujourd'hui de beaucoup plus gros feeders qu'autrefois, ce qui fait qu'en cas de court-circuit les fusibles ne sautent pas toujours au moment voulu. En employant des machines à vapeur toutes identiques et de capacité suffisamment faible, qui se ralentiront d'elles-mêmes en cas de forte surcharge, on peut éviter l'emploi des fusibles et des coupe-circuits automatiques sur les panneaux d'alternateurs, car, en cas de court-circuit prolongé, l'abaissement du voltage suffira pour empêcher un courant trop intense de s'établir. P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 9 février 1903.

Méthodes de réglage de la vitesse des moteurs shunt, par W. Cooper. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 508-518, n° d'avril 1903.

Dans cette communication, l'auteur étudie la question du réglage de la vitesse des moteurs shunt, et l'application de ce type de moteur aux machines-outils. Le premier desiderata à rechercher dans une machine-outil est de maintenir la vitesse de travail de l'outil à son maximum, et ce dernier dépend de la qualité de l'outil, de la nature des matériaux à travailler, et des précautions prises pour refroidir l'outil. L'auteur divise les machines-outils en deux classes, suivant que l'on a à travailler sur des surfaces cylindriques ou sur des surfaces planes. Pour la première classe, des artifices de changement de vitesse s'imposent évidemment, si l'on veut conserver la vitesse maxima de travail de l'outil. Dans la pratique, les trains d'engrenages dont sont munis les machines-outils donnent des rapports de variations très divers, allant de 3/1 à 15/1, mais le nombre de ces variations pour une même machine est très limité, et la condition de rendement maximum exige des variations beaucoup plus continues.

Les tentatives qui ont été faites pour obtenir ce résultat par des procédés purement mécaniques ont conduit à des complications d'engrenages inadmissibles.

L'auteur admet, d'autre part, que sauf pour quelques machines, les variations de vitesses du moteur électrique ne suffisent pas à couvrir l'étendue des variations exigées d'une machine-outil telle qu'un tour ou une machine à percer. On a alors recours à une combinaison des procédés électriques et mécaniques, qui donne les meilleurs résultats avec l'équipement individuel des machines-outils. Une telle machine est construite, en effet, pour résister à des forces intérieures correspondant à un couple donné; mais ce couple est le même, quelle que soit la vitesse, rien n'empêche donc, au point de vue de la sécurité, de doubler et, souvent même, de tripler la vitesse de travail; mais dans un système de transmission par courroie et poulie, l'énergie que cette dernière est susceptible de transmettre est souvent limitée, tandis qu'elle ne l'est pas avec l'équipement électrique individuel.

L'auteur examine ensuite la question du choix du moteur électrique ; au point de vue de l'économie de l'installation, il faut considérer d'abord la vitesse maximum à laquelle le moteur pourra fonctionner ; on détermine ensuite la vitesse minimum et, ces deux extrêmes étant connues, il reste à étudier les moyens de réaliser les vites-

Digitized by Google

ses intermédiaires. L'auteur démontre que la méthode de variation du champ conduit à l'emploi de moteurs plus grands que celle de la variation de voltages sur l'induit. Il conclut finalement qu'une combinaison de ces méthodes conduit au meilleur résultat, en donnant une échelle de variations de vitesse très étendue, sans dimensions exagérées du moteur. P.-L. C.

Séance locale de Pittsburg, 9 avril 1903.

Discussion des communications sur les lignes à hautes tensions [1]. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 521-534, nº d'avril 1903.

M. Skinner préfère pour les isolateurs les verres à base de potasse à ceux à base de plomb; il voudrait que les essais des isolateurs à haute tension fussent faits à différentes pressions barométriques, puisque, selon M. Blackwell, l'altitude semble avoir une influence sur la distance explosive de deux électrodes. L'orateur condamne l'emploi des isolateurs à huile qui n'ont d'ailleurs reçu aucune application sur les lignes américaines à hautes tensions. Il signale ensuite les divers modes de variation de la tension aux bornes des transformateurs d'essai. Quand l'installation forme un groupe indépendant, il suffit de modifier la tension de l'alternateur au moyen de l'excitation. Dans les autres cas, on modifie la résistance du circuit à basse tension du transformateur au moyen d'une résistance liquide; ou bien l'on modifie l'enroulement secondaire. L'auteur relate ensuite une série d'essais prolongés effectués sur divers isolateurs; il attribue la carbonisation des supports en bois à des décharges statiques, et recommande l'emploi de supports métalliques.

M. Etheridge constate avec regret le peu d'attention que les ingénieurs accordent aux lignes de transmission, surtout au point de vue mécanique. Il recommande pour éviter la pourriture des poteaux, de recouvrir la partie enfoncée d'une couche de ciment, que l'on recouvre d'une deuxième couche d'asphalte ou de poix, afin d'éviter complètement le contact du sol avec le bois ou le fer des poteaux.

A propos des essais des isolateurs à haute tension, M. Peck voit dans l'emploi de transformateurs à secondaires en série, l'avantage d'une non mise hors de service de toute l'installation: en cas de coup de feu sur un des transformateurs, les autres enroulements peuvent encore servir pour des tensions plus basses. L'orateur fait remarquer cependant que, avec trois transformateurs à secondaires en série, les deux transformateurs extrêmes ont à supporter une tension triple, entre leurs enroulements de haute et basse tensions, de celle qui existe entre ces enroulements quand le transformateur fonctionne isolément. Il faut en tenir compte dans la construction, or comme on aura à isoler fortement entre eux les deux enroulements, cette condition entraînera des chutes de tensions assez fortes avec ces charges inductives. L'orateur estime enfin plus économique d'employer deux transformateurs donnant chacun toute la tension désirée que d'acquérir une série de transformateurs.

M. Scott, au sujet de l'attaque des lignes de cuivre par l'atmosphère salée au voisinage des côtes, cite une solution satisfaisante obtenue sur une ligne du Mexique et consistant à envelopper les fils de coton imprégnée de minium et d'huile de lin. P.-L. C.

Séance du 24 avril 1903.

Tendances du développement des stations centrales, par **M. Scott**, président. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 631-635, numéro de mai 1903.

Dans une introduction à une série de communications sur le développement des stations centrales, que nous analysons ci-après, le président de l'Institut américain compare ce développement à celui de toute la civilisation depuis quelques générations, et montre comment la division du travail, la *coopération* des forces individuelles, ont rendu la vie humaine plus large et augmenté, pour ainsi dire, son rendement. L'électricité est, par excellence, un agent d'unification sociale. Ses théories font entrevoir le secret des mystères de l'affinité chimique, du magnétisme, de la lumière et de la gravitation; ses résultats techniques la mettent en contact intime avec toutes les branches de l'industrie, dont elle devient un auxiliaire précieux, un agent merveilleux d'unification et de simplification. Les progrès qui ont été réalisés dans toutes les branches des distributions d'électricité, la coopération de tous les spécialistes, ont amené les stations centrales à un degré de perfection admirable. L'orateur n'en veut pour preuve que

(1) Voir *Écl. Élect.* t. XXXVI, p. 358, 29 août 1903.

Digitized by Google

l'exemple du système Edison à New-York où il ne s'est jamais produit un arrêt complet depuis sa fondation ; depuis 1893, il n'y a pas eu d'interruption de service sur aucune partie du système. Or, en mars 1903, la Compagnie Edison, de l'Ile Manhattan, alimentait 26 000 consommateurs, représentant 2 391 431 lampes de 16 bougies. P. L. C.

Séance du 24 avril 1903.

Limites rationnelles et économiques de la puissance des stations centrales, par **H. A. Lardner**. *Transactions of Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 635-644, numéro de mai 1903.

L'auteur examine, dans cette communication, les raisons qui ont conduit à l'érection des grandes stations, les avantages et inconvénients des stations puissantes. Au point de vue du territoire à desservir, si l'étendue en est considérable et s'il faut alimenter plusieurs localités pourvues de lumière et de tramways, une grande station, bien placée pour les approvisionnements en charbon et eau, possède des avantages marqués et réalisera une économie de main-d'œuvre et de premier établissement ; mais il faut pour cela que le territoire de la distribution atteigne l'étendue des plus grandes villes, telles que New-York, Chicago, Brooklyn, Boston, etc.

Quand la tension de distribution est relativement basse, comme dans le système d'Edison à trois fils et 240 volts, il est très peu de villes où se rencontre un débit suffisant pour une très grande station, sans dépasser la zone économique limite pour cette tension. Dans les villes où ce système est appliqué, on trouve que les stations sont généralement fort coûteuses et trop petites pour un fonctionnement économique [1]. On a réussi à améliorer un peu le coefficient d'utilisation, en reliant les stations par des câbles à hautes tensions alimentant des commutatrices, mais cette double conversion de courant entraîne des pertes d'énergie peu admissibles.

Le progrès suivant a consisté dans l'érection d'une grande station à courant alternatif, bien située, et alimentant les commutatrices de sous-stations convenablement distribuées. Cette méthode permet la création de très grandes stations, d'unités très puissantes, réalisant une économie de surveillance ; la demande des différentes sections d'une ville se produisant à des moments différents, il en est résulté un coefficient d'utilisation meilleur [1].

L'auteur estime que la création d'une bonne lampe de 240 volts serait un grand pas, car elle permettrait l'emploi de distributions de 500 volts, et il est possible qu'avec ce système les stations pourraient être construites assez puissantes pour présenter des frais de premier établissement relativement faibles ainsi qu'un fonctionnement économique.

Le système de distribution par 2 200 volts alternatifs permet de desservir un territoire très étendu ; ici, la question d'une grande station a moins d'importance, car il est probable que le débit peut être réparti entre deux ou trois stations assez grandes pour être économiques ; au moyen de feeders, elles pourraient se prêter une assistance mutuelle, assurer et régulariser le service.

L'auteur examine ensuite la question des dimensions des unités correspondant au fonctionnement le plus économique et à un encombrement minimum.

Il donne une série de résultats d'après divers auteurs (Thurston, Barrus, Stone et Webster, etc.), ainsi qu'un tableau de consommation des puissantes machines de New-York. Il en conclut qu'à pression et vide égaux, les machines de 550 à 2 000 chevaux donnent d'aussi bons rendements que celles de 4 500 à 8 000 chevaux. Comme le fait remarquer l'auteur, les dépenses de main-d'œuvre variables avec les dimensions d'une machine ne constituent, en effet, qu'une faible partie des dépenses totales de fonctionnement.

Quant à l'encombrement, la machine la plus puissante sera certainement plus économique à ce point de vue ; mais la surface, par cheval, occupée par une machine, semble affectée davantage par le type que par les dimensions par suite de puissance [2].

---

[1] L'emplacement est imposé souvent sans considération des commodités d'approvisionnement en eau et charbon, et le coefficient d'utilisation est généralement mauvais.

[1] La présence d'un ou deux hommes suffit aux sous-stations, au moment des plus fortes consommations ; les appareils générateurs qui s'y trouvent peuvent être employés en cas d'accident, et on évite le danger de la concentration de tous les appareils générateurs dans un même local.

[2] Ainsi, tandis qu'à la station Edison, à New-York,

Digitized by Google

Ces deux facteurs, l'économie de main-d'œuvre et l'encombrement par unité, semblent donc tout à fait secondaires dans cet examen ; néanmoins il reste établi que, pour les mêmes types, la plus grande machine est la plus économique ; et, à ce propos, l'exemple des grands paquebots transatlantiques montre que les stations pourront posséder des machines de 15 000 chevaux, quand elles le désireront, attendu surtout que les conditions de fonctionnement y seront bien moins dures que sur mer.

Les turbines à vapeur auront, à ce point de vue, une supériorité marquée ; on estime que l'encombrement des turbines est, à puissance égale, les 80 p. 100 des moteurs verticaux et les 40 p. 100 seulement des machines horizontales.

L'auteur cite des résultats fournis par des turbines Westinghouse-Parson et Curties ; cette dernière, pour des puissances de 500 à 5 000 chevaux, n'a consommé que 6 kg de vapeur sèche environ, à pleine charge, par cheval-heure indiqué. L'auteur voit dans les turbines d'autres avantages tels que la facilité de mise en parallèle des alternateurs qu'elles conduisent, la non diminution du rendement par l'usage, la réduction de la main-d'œuvre. D'autre part, si le bon fonctionnement des turbines peut rendre l'exploitation de petites stations centrales aussi économique que celle des plus grandes, il n'est pas douteux qu'un plus grand nombre de stations sera préférable à une grande station unique, tant au point de vue de l'économie de distribution que de la sécurité et de la régularité du service. Encore faudra-t-il que les villes présentent plusieurs emplacements favorables à l'approvisionnement en eau et en charbon.

En résumé, l'auteur conclut que les grandes stations isolées présentent le danger d'une interruption totale de service sur un territoire étendu, et que de petites stations, si elles ne doivent pas entraîner plus de frais d'établissement et d'exploitation, n'exigent pas un raffinement de précautions tel qu'il est usité dans les grandes stations actuelles. P.-L. C.

on compte une surface de 0,031 m² par cheval, pour une machine de 5 500 chevaux, les machines des chemins de fer de Manhattan (8 000 chevaux) et de Metropolitan Street Railway (4 500 chevaux) exigent 0,046 et 0,050 m² par cheval.

Séance du 24 avril 1903.

Appareils de sécurité des stations et sous-stations, par **Philip. Torchio**. *Transactions of. Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX., p. 645-651., n° de mai 1903.

Dans cette communication, l'auteur passe en revue les principes suivis dans la construction et le montage des appareils électriques dans les stations et les distributions ; il donne une liste des appareils de sécurité contre les interruptions et des procédés pour localiser et réparer les accidents. L'auteur rappelle que, jusqu'à présent, le courant n'a été produit directement par les génératrices que jusqu'à 15000 volts ; une transformation a été employée pour les tensions supérieures ; d'autre part, les distributions se font par des conducteurs aériens ou souterrains, ou par les deux systèmes combinés. Cette complication dans les appareils générateurs et distributeurs entraîne une diversité d'appareils de sécurité que l'auteur renonce à analyser ; il s'en tiendra aux généralités.

Le principe de l'indépendance des appareils est, en général, appliqué depuis l'approvisionnement de charbon jusqu'à la sous-station et aux lignes de distribution. Les procédés adoptés pour réaliser cette indépendance ne sont pas tous nécessaires dans tous les cas ; mais l'auteur les énumérera comme si la régularité et la sécurité du service avaient toujours une importance capitale.

Dans la station centrale, il y aura une batterie d'accumulateurs sur les barres du tableau d'excitation, des relais de retour de courant et des coupe-circuit sur les excitatrices, des relais de surchage à temps et des coupe-circuit sur les moteurs actionnant les excitatrices ; les conducteurs des différentes génératrices seront séparés et partagés mécaniquement ; ils seront reliés au tableau en passant par deux interrupteurs à huile en série, se fermant séparément et s'ouvrant d'un seul coup. Les tableaux de machines seront divisés par groupes séparés ; des commutateurs permettant d'agir sur la même machine, avec deux sections des tableaux. Des connexions mobiles permettront de faire toutes les combinaisons outre les divers groupes.

Sur les interrupteurs principaux des génératrices, des relais de surcharge et de retour de courant seront reliés à une lampe-signal. Les feeders aboutiront à des commutateurs permettant de les connecter à deux sections de tableaux au moins ; ils seront munis d'interrupteurs à

Digitized by Google

huile par deux en série et de relais de surcharge ; tous les conducteurs et appareils quelconques seront séparés mécaniquement à la section, et montés sur verre ou porcelaine si des décharges de capacité sont à craindre. Sur les transformateurs, les appareils de mise en phase seront placés sur le circuit de basse tension. On évitera les interrupteurs simples sur chaque phase du circuit ; on évitera aussi de mettre en phase avec un interrupteur de phase fermé et un transformateur de mise en phase en dérivation sur un autre interrupteur de phase ouvert.

Les lignes de transmissions aux centres importants seront doublées ; elles emprunteront, si possible, des chemins différents ; des boîtes terminales seront placées à toutes les extrémités avec des parafoudres sur les câbles souterrains : ces derniers seront protégés dans les conduits par l'emploi de matériaux incombustibles ; le plomb des câbles sera protégé contre l'électrolyse, soit par l'emploi de conduits vitrifiés ou émaillés, et de supports isolés au caoutchouc dans les regards ; l'auteur conseille aussi l'emploi de conducteurs nus en cuivre reliés à l'enveloppe de plomb et ramassant les courants vagabonds. Les lignes aériennes seront munies de parafoudres perfectionnés à chaque extrémité ; le point neutre des transmissions triphasées sera mis à la terre pour les très hautes tensions. Cette mise à la terre est utile, pour les basses tensions (Chicago), en vue de la localisation des défauts et l'indication du feeder défectueux. Il faut éviter enfin de placer des conducteurs de fréquence différente sur la même ligne de poteaux.

Dans les sous-stations, les divers circuits d'arrivée alimenteront de préférence des groupes de transformation séparés, dont les courants se réuniront sur un tableau commun. Les commutatrices peuvent fonctionner en parallèle du côté continu tout en étant alimentées par des circuits alternatifs non en phase ; ceci permet d'alimenter chaque sous-station au moyen de groupes générateurs différents, ce qui n'est pas possible avec des sous-stations à transformateurs seuls. Dans des cas importants, il peut être avantageux de subdiviser la distribution en circuits différents alimentés par des lignes indépendantes et des transformateurs excités par des sources différentes [1].

Les lignes d'arrivée seront munies d'interrupteurs à huile et de relais de surchage avec une limite de temps inversement proportionnelle à l'intensité du courant. Quand plusieurs lignes aboutissent à un tableau de haute tension ou à des transformateurs ayant leurs basses tensions en parallèles, chaque ligne devra être munie d'un relais disjoncteur. Quant au système des conducteurs à l'intérieur de la sous-station, on prendra les précautions indiquées pour la station principale.

La fermeture des interrupteurs de haute tension sur les transformateurs les soumettent à des efforts dangereux, que l'on peut éviter en mettant la basse tension en circuit sur les barres communes. Dans le cas où il n'y a pas d'autre transformateur en fonction, il est bon de laisser la haute tension fermée en permanence, surtout dans les stations hydrauliques. L'auteur préfère les interrupteurs à huile, avec disjoncteurs électromagnétiques, aux fusibles pour hautes tensions.

Les commutatrices, compoundées et enroulées en dérivation, reliées en parallèle à des barres d'un tableau commun à courant continu, doivent être protégées par un appareil régulateur de vitesse coupant le courant quand la vitesse dépasse une certaine limite.

L'auteur recommande des connexions de secours entre différentes stations génératrices. L'adjonction d'accumulateurs aux sous-stations à commutatrices lui semble de la première importance.

En terminant cette énumération, l'auteur recommande d'apporter le plus grand soin aux essais des appareils ; spécialement dans les essais d'isolation des générations, câbles, lignes et transformateurs. Des essais de rupture sont utiles sur des échantillons, mais l'auteur trouve dangereux de soumettre toute une installation à des essais de rupture, à des tensions voisines de la limite. P.-L. C.

[1] Tel est le cas de la station de Waterside, exploitée par la Compagnie Edison, de New-York. Les génératrices sont divisées en groupes indépendants ; dès qu'une sous-station a plus d'une commutatrice en service, chacune d'elles est connectée à un feeder séparé, alimenté par un groupe indépendant. Les commutatrices fonctionnant en parallèle du côté continu, la répartition du débit entre les différents feeders et, par suite, entre les différents groupes générateurs, s'accomplit d'une façon parfaite ; le surveillant de la station principale avertit chaque sous-station de quelle façon la charge doit être répartie sur les commutatrices.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 24 Octobre 1903. 10e Année. — N° 43.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — A. BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées. — G. LIPPMANN. Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — D. MONNIER, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — H. POINCARÉ, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — A. POTIER. Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — A. WITZ, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — J. BLONDIN, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ (1)

L'une des applications tout indiquée de la commande par l'électricité est celle des *essoreuses*, que les dynamos peuvent facilement entraîner à la vitesse voulue, directement et sans l'intermédiaire de courroies dangereuses et encombrantes, avec des facilités exceptionnelles d'arrêt et de mise en train; le réglage de la vitesse peut aussi se faire avec exactitude et facilité.

Parmi les nombreuses essoreuses électriques actuellement employées, l'une des mieux étudiées est celle de MM. Watson Laidlaw et C°, de Glasgow, qui se sont fait, en cette matière, une spécialité très honorablement connue. Dans ces appareils, la dynamo attaque l'arbre F (fig. 1 à 3) de la turbine par une étoile O, en prise avec les blocs centrifuges P, qui, pressés par la force centrifuge dans la jante du plateau de F, l'entraînent dès que la dynamo a acquis la vitesse nécessaire et cessent de l'entraîner en glissant s'il se présente une résistance anormale. Cette commande répond très bien à la condition du travail intermittent de ces essoreuses, dont la durée de fonctionnement varie de cinq à quinze minutes entre chaque chargement, et qui doivent démarrer très vite et sans chocs.

Le plateau de l'arbre F repose sur des blocs de bois SH, à graissage forcé entre l'arbre, le plateau et les blocs par le tuyau N, et ces blocs H reposent, eux-mêmes, sur une portée sphérique E, avec anneau D, maintenu par des ressorts S, ainsi que l'arbre même, qui peut ainsi s'incliner, comme en la figure 3, sous le balourd de la charge de la turbine (2).

(1) *Éclairage Électrique* du 11 juillet 1903, t. XXXVI, p. 41.

(2) *Engineering*, 20 juin 1902.

Digitized by Google

MM. POTT, CASSELS et WILLIAMSON, à Motherwell, Glasgow, entraînent aussi leurs essoreuses par un embrayage automatique graduel à friction. L'armature G (fig. 4) de la dynamo GCP commande le plateau E, à masses centrifuges H, qui entraînent la poulie L, calée sur le manchon F de l'arbre de la turbine A. Cet arbre roule sur billes à sa partie supérieure et est guidé par le manchon fixe B, qui repose sur les caoutchoucs DD, équivalents des ressorts du type précédent.

On remarquera la facilité avec laquelle la commande électrique, à l'inverse de celle par

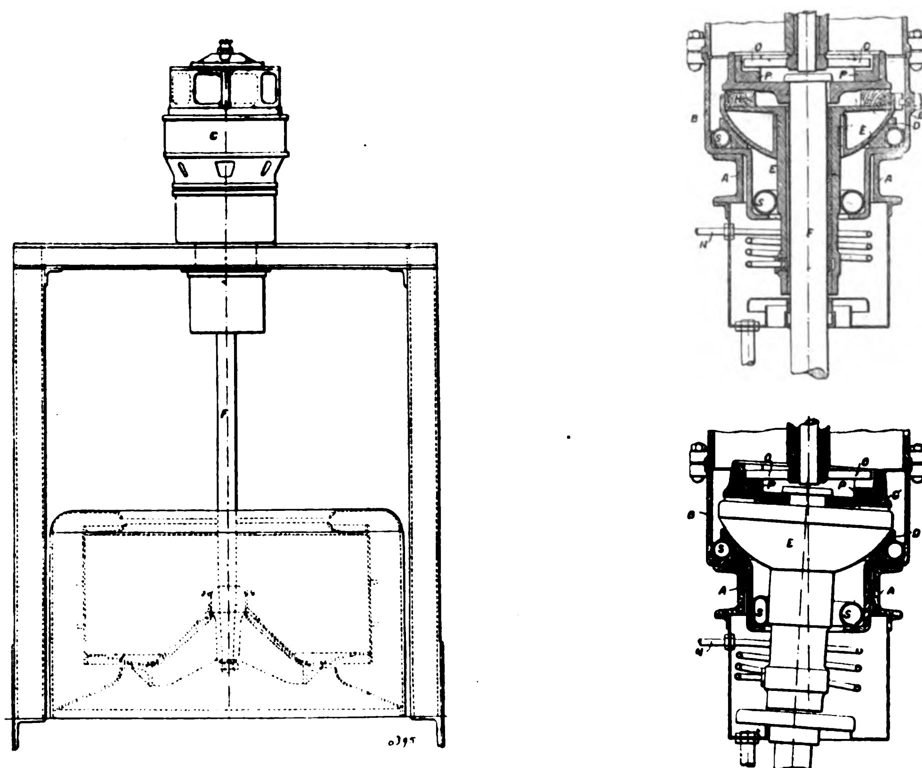


Fig. 1, 2 et 3. — Essoreuse électrique Watson Laidlaw.

courroie, laisse à l'arbre de la turbine toute la liberté de gyration nécessaire de manière qu'il tourne sans cesse autour de son axe de rotation réel, au lieu d'un axe approximatif et rigide fatigué par le balourd inévitable de la turbine.

Quand l'essoreuse est au repos, les ressorts M (fig. 6) pressent les sabots du frein KI sur le cône L, et, dès qu'on lance le courant, les armatures JJ attirent ces sabots et desserrent les freins, qui se resserrent automatiquement dès que le courant est rompu à la dynamo; la manette O permet de desserrer ce frein à la main.

Les billes de A roulent dans l'huile; le frottement est si faible qu'une turbine de 1,20 m met une heure et demie à s'arrêter d'elle-même.

Les *embrayages électromagnétiques* se répandent de plus en plus jusqu'aux plus grandes puissances; jusqu'à 3 000 chevaux à 150 tours [1] et sous les formes les plus variées, leur permettant de s'adapter sans encombrement aux changements de marche et de vitesses; nous allons en donner quelques exemples nouveaux.

[1] *Revue de Mécanique*, juillet 1903, p. 22.

Digitized by Google

Le principe de l'appareil de M. Le Pontois, représenté par les figures 7 à 17, est indiqué sur le schéma fig. 10. Suivant que l'on envoie le courant dans l'un ou l'autre enroulement y_1, le plateau y, calé sur l'arbre moteur x entraîne l'arbre z par x_1 z_1, ou par x_3 z_2 par l'adhérence des plateaux x_2 ou x_4; des ressorts y_5 rappellent ces plateaux en débrayage dès la suppression du courant.

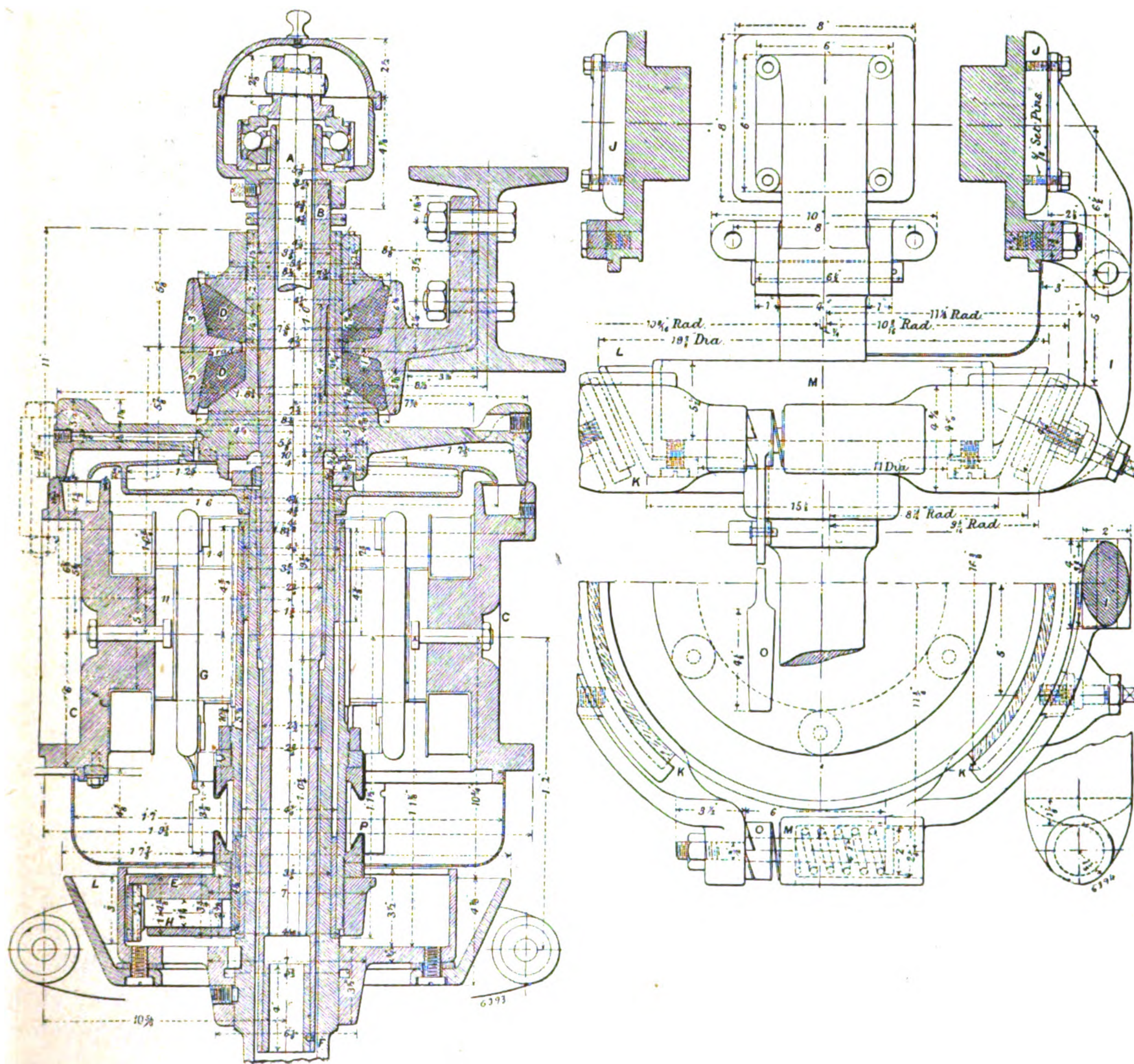


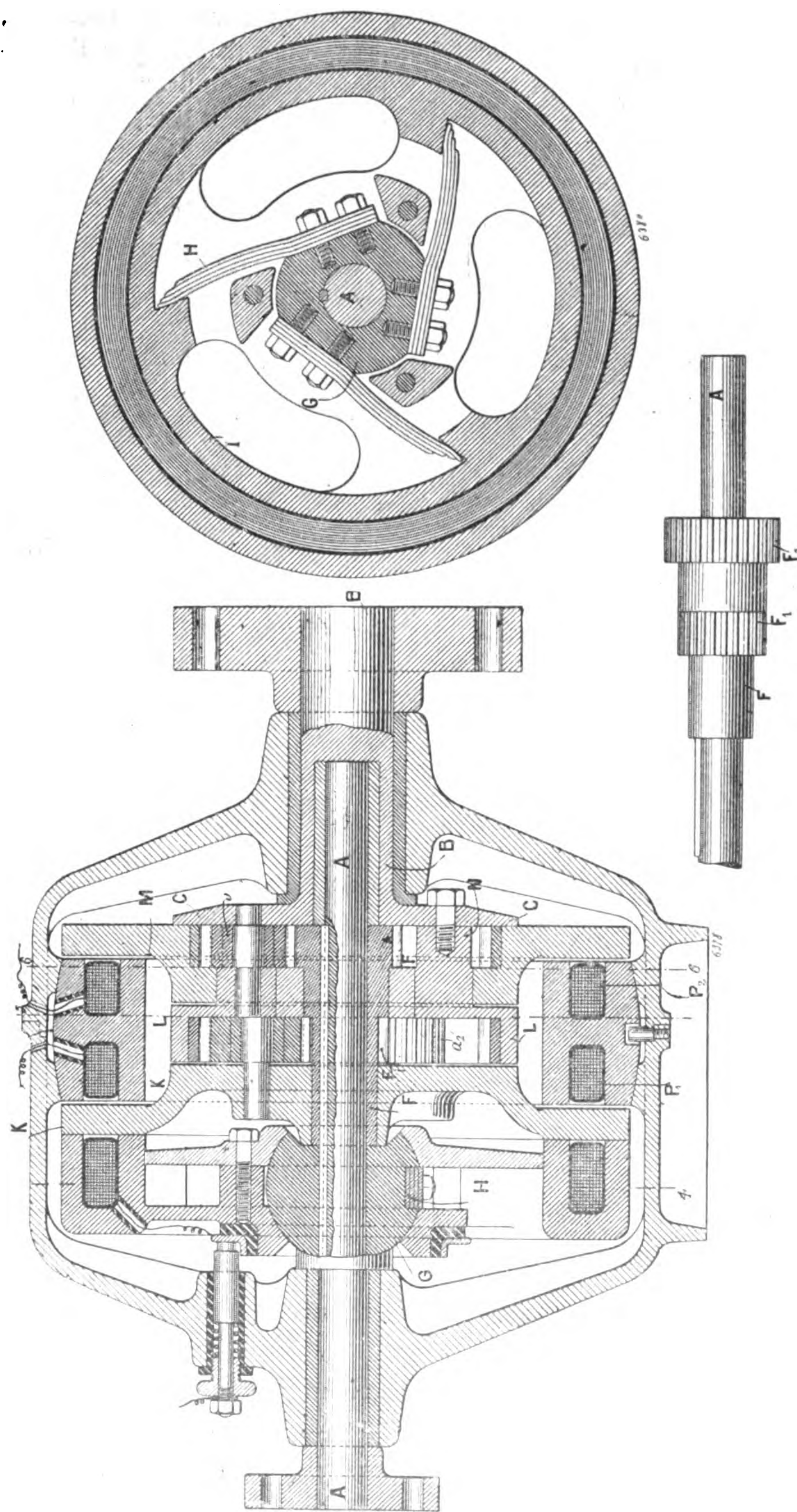
Fig. 4, 5 et 6. — Essoreuse électrique Pott, Cassels et Williamson.

En exécution (fig. 7, 8 et 9) l'arbre moteur A porte, calé sur lui, un manchon F, avec deux pignons F_1 et F_2, en prise, respectivement, avec les satellites a_1... et b_1... (fig. 11 et 12), montés sur les plateaux K et M, fous sur A. L'arbre A entraîne, en outre, par sa sphère G et les ressorts H, le plateau I.

Quand on envoie le courant dans l'enroulement L de I, il attire et immobilise K, de sorte que ce plateau, entraîné avec A, commande, par ses satellites immobilisés, le pla-

Digitized by Google

teau L, qui, par ses tocs N_1, fixés au plateau C, entraîne l'arbre B dans le même sens et à la même vitesse que A.


Fig. 7, 8 et 9. — Embrayage électromagnétique Le Pontois en exécution.

Si, après avoir supprimé le courant en I_1, on l'envoie dans l'enroulement P_1, il immobilise K, de sorte que les satellites a_1 entraînent L, par sa denture intérieure en sens contraire de A.

Si le courant passe en P_2 seulement, il immobilise M, de sorte que les satellites b_1, roulant sur la denture intérieure de M, entraînent L et B, dans le même sens que A, et à une vitesse réduite.

Les enroulements P_1 et P_2 sont montés sur un appui sphérique l leur laissant le jeu suffisant pour s'adapter aux irrégularités des plateaux M et K, et il en est de même de l'application de I_1 sur K, grâce au jeu laissé par la sphère G et l'entraînement élastique H.

Avec le dispositif (fig. 13 à 17), lorsqu'on envoie le courant en b_1, cet enroulement attire l'armature bde_1, folle sur l'arbre moteur a, et le plateau e, entraîné alors à la vitesse de a, commande l'arbre h dans le même sens que a, et à vitesse réduite, par le train $ee_1k_2k_1k_3\ i_3$ et le plateau h_2, calé sur h.

Si le courant passe en g_1, entraîné par le carrelet a_1 de a, il attire le plateau e_1, qui, par le train $e_3j_2j_1j_3i_2$, entraîne h à une vitesse

plus grande que précédemment. Si le courant passe en g_2, g, attiré sur h_1, entraîne h à la vitesse même de a; et, si l'on doit marcher longtemps à cette grande vitesse, on repousse par le levier i_5 (fig. 13), le manchon i_1 à gauche, de manière à le débrayer en i_4 du manchon plateau h_1, et à dégager ainsi le train correspondant, qui cesse de tourner inutilement à vide.

Pour renverser la marche, on repousse, par le levier k_5 (fig. 13), le pignon k_3 à gauche, de manière à le désengrener de i_3 et à l'engrener avec l_2, dont le train entraîne alors h en sens contraire de a.

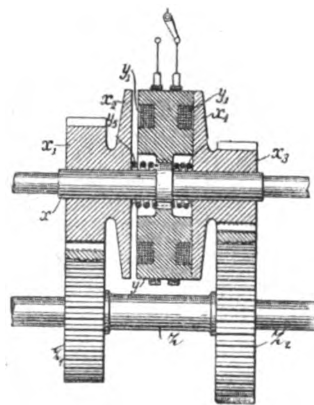


Fig. 10. — Schéma de l'embrayage électromagnétique de Le Pontois.

Dans le dispositif de l'ELECTRIC MOTIVE POWER C°, de Balham, Surrey, lorsque le courant passe en B (fig. 18 et 19), solidaire de l'arbre moteur A, cet arbre entraîne le plateau D, et, d'un bloc, le différentiel HIG, ainsi que l'arbre E. Si le courant passe en C, il immobilise D, et A entraîne E, à une vitesse moindre, par le différentiel roulant sur le pignon G, solidaire de DF.

En figure 19 le pignon J de l'arbre moteur A engrène avec le pignon annulaire excentré MM_1M_2, en prise avec celui N de E. Quand le courant passe en B, calé sur A, B entraîne E à la vitesse de A, par l'armature D, rainurée sur O, l'enveloppe OF, folle sur A, M, N et J, grâce à la prise de M sur le roulement de billes P, de F, excentré comme J. Si le courant passe dans l'enroulement fixe C, il immobilise D et F, et J entraîne N, par M roulant sur P, à une vitesse moindre que celle de A.

Le cône à embrayages électro-magnétiques de CROCKER WHEELER fonctionne (fig. 20 à 23) de la manière suivante, de manière à permettre de commander l'arbre 2 par les pignons 25, 30 ou 34.

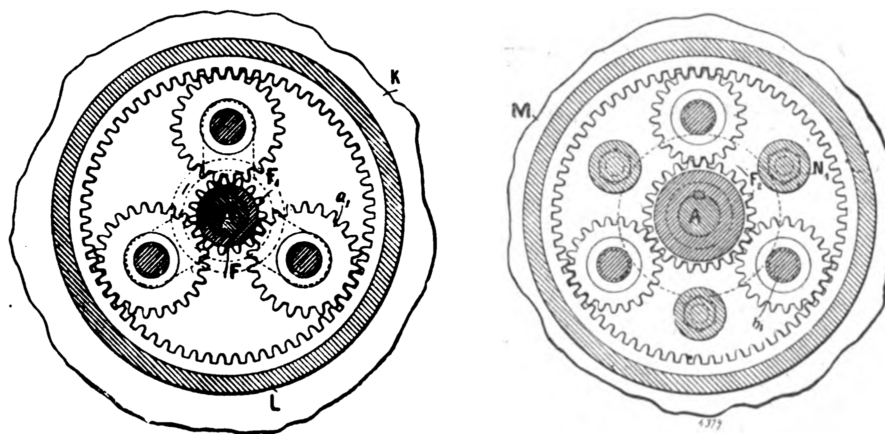


Fig. 11 et 12. — Détail des pignons et des satellites de l'embrayage électromagnétique Le Pontois.

Si le courant passe en 7 (fig. 20) il attire l'armature 20, rainurée en 36, sur le manchon l de 2, vers la gauche, et serre entre 20 et 18, également excitée, l'anneau 26, solidaire du pignon 25; de même, le passage du courant en 8 et en 9 fera entraîner l'arbre 2, par 30 ou 34.

Quand le commutateur 37 (fig. 22) occupe la position aa (fig. 23) le courant passe par t 66, 42, 43, 44, 10, 7, 15, 47, 50 et 58, en embrayant 24. Dans la position bb, le courant

Digitized by Google

passe par *v*, 51, 49, 48, 16, 8, 11, 9, 12, 46, 65, 42, 43, 44, 10, 7, 15, 47, 50, 58, ou par 15,

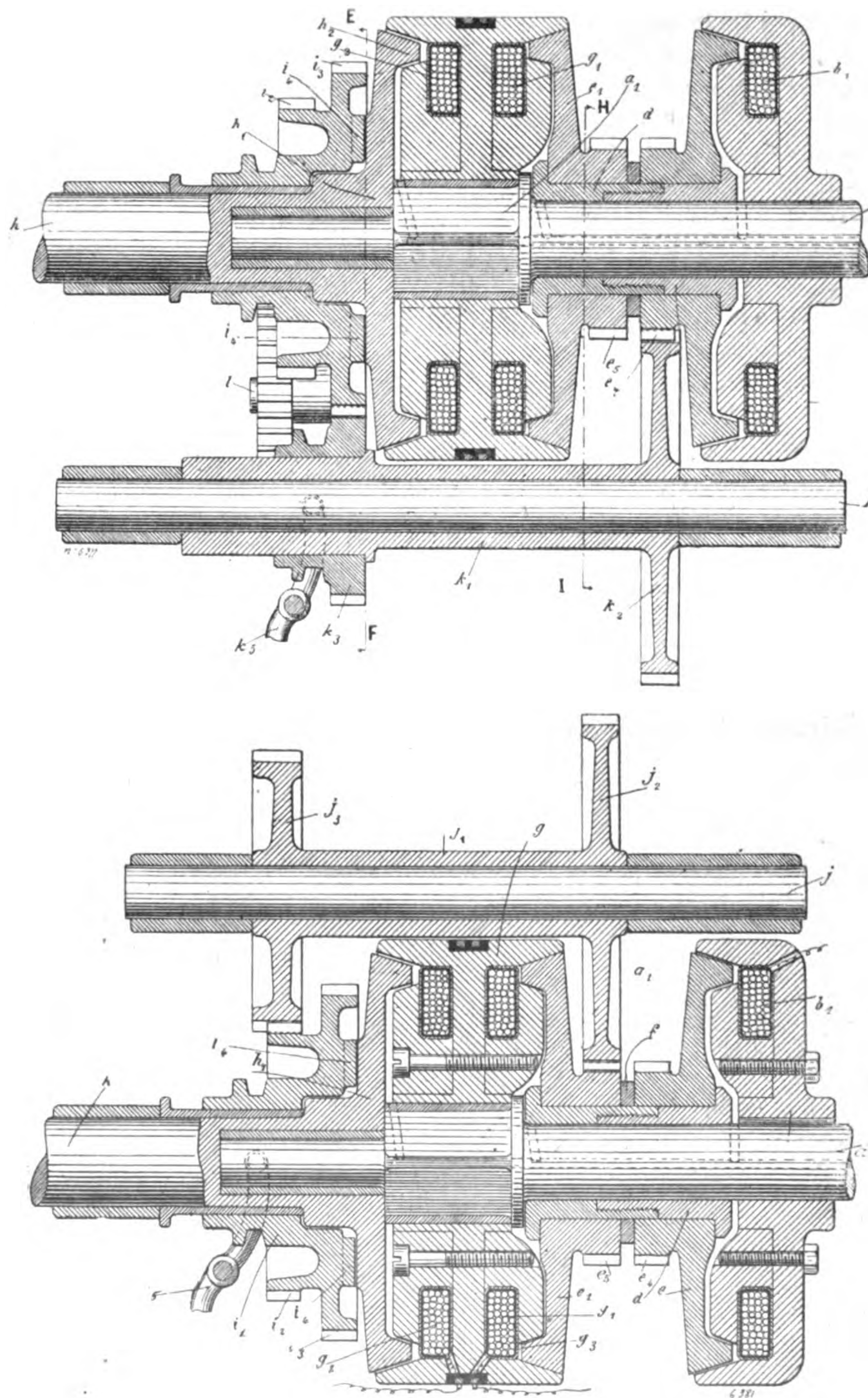


Fig. 13 et 14. — Autre dispositif d'embrayage électromagnétique de Le Pontois.

7, 10, 44, 43, 42, 65, 46, 12, 9, 11, 8, 6, 16, 47, 50, 58, traversant, à partir de 48, les trois

Digitized by Google

enroulements 7, 8 et 9 dans un sens quand 16 est au contact de 48, et en sens opposé quand 15 est à ce contact de manière à pouvoir démagnétiser rapidement les armatures.

En *cc*, le courant passe par *u*, 52, 49, 48 et soit par 16, 8, 11, 9, 12, 46, 65, 45, 43, 44, 10, 7, 15, 47, 50, 58, soit par 15, 7, 10, 44, 43, 42, 65, 46, 12, 9, 11, 8, 16, 47, 50, 58, en sens contraire, comme précédemment, mais avec interposition d'une résistance *u*, moindre que *v*.

En *dd*, le courant passe en 7, 8 et 9, dans un sens ou dans l'autre et avec intercalation de la résistance *v*.

En *ee*, le courant passe en 8 par *t*, 66, 61, 64, 45, 11, 8, 16, 48, 49, 54, 58 ou, en sens contraire, par 47, 50, 58, en embrayant le pignon 27.

En *ff*, le courant passe par les trois enroulements et *v*, dans un sens ou dans l'autre, et de même, en *gg*, avec la résistance [illegible], comme en *cc*; en *hh*, même résultat qu'en *ff*. En *ii*, le courant passe par *t* et l'enroulement 9, en embrayant le pignon 34.

Chacun des enroulements 7, 8 et 9 peut donc être excité, puis démagnétisé par un courant de sens contraire, d'intensité variable par les résistances *u* et *v* alternativement introduites dans son circuit.

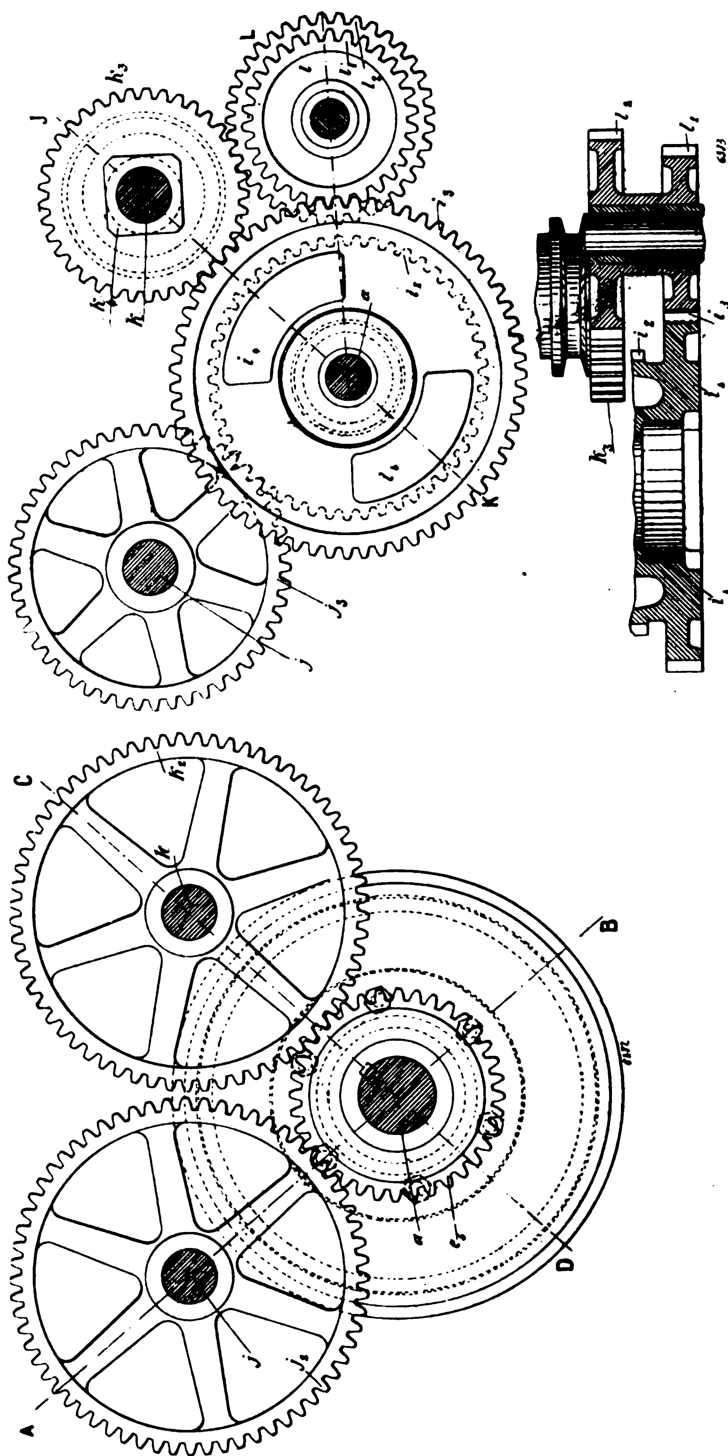


Fig. 15, 16, et 17. — Détail des trains d'engrenages du deuxième dispositif d'embrayage électromagnétique Le Pontois.

L'embrayage de la General Electric C° représenté par les figures 24 à 26 se compose des deux plateaux de fer 5 et 6, calés l'un sur l'arbre moteur 3 et l'autre sur l'arbre entraîné, et qui adhèrent quand on fait passer dans les bobines fixes 11 un courant développant dans leurs armatures 10 des polarités opposées sur 6 et

Digitized by Google

sur 5. Les manchons 7 de 5 et de 6 sont en bronze pour éviter les pertes de flux. Cet embrayage a donné d'excellents résultats.

Dans les mécanismes où l'on change fréquemment le sens ou la grandeur de la vitesse, il faut rendre la partie menée aussi légère que possible et d'un décollage facile ; c'est ce

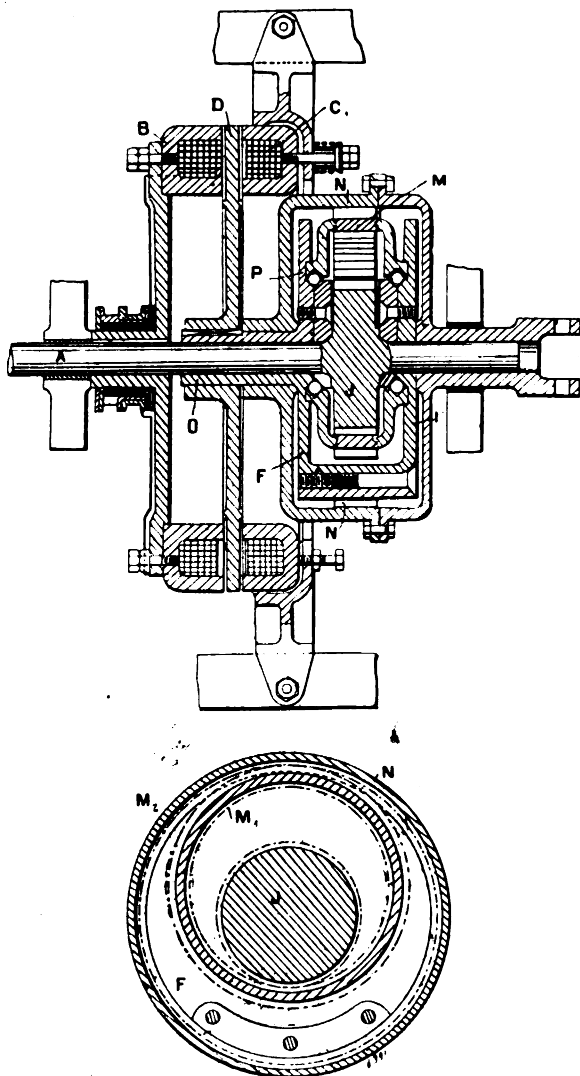


Fig. 19 et 20.— Embrayage de l'Electric Motive Power C° (2e type).

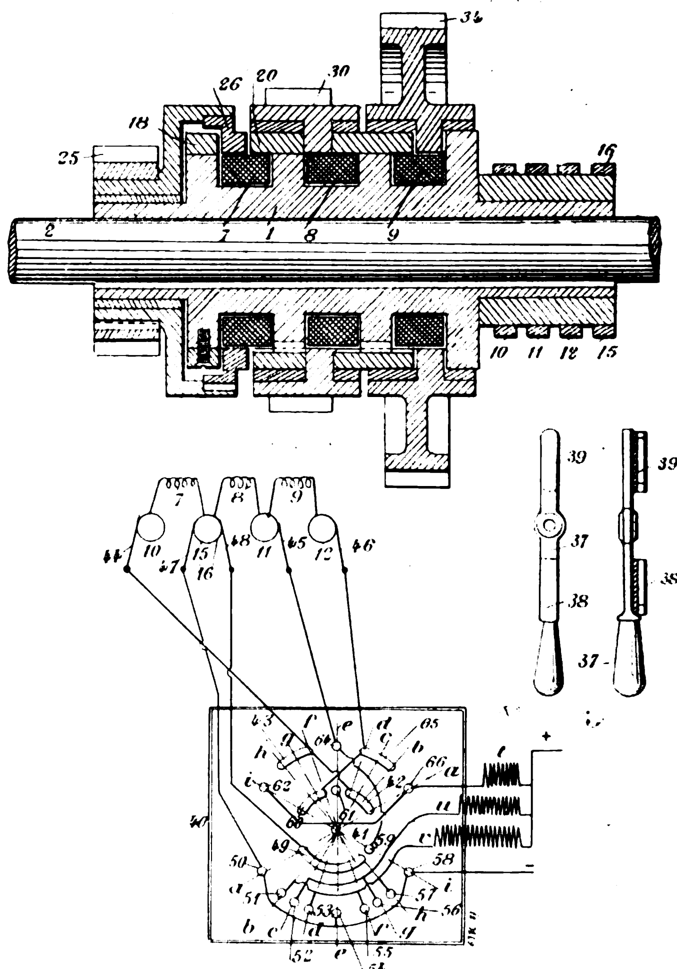
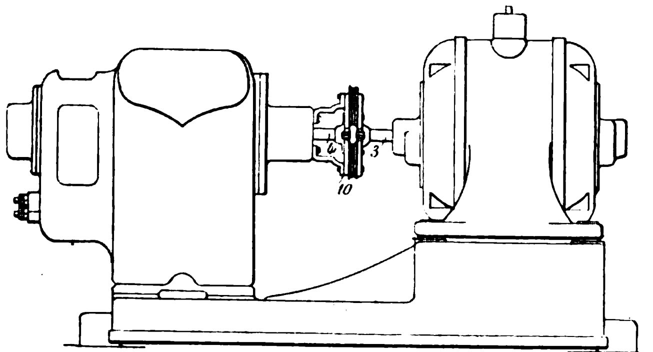


Fig. 20 à 23. — Embrayage Crocker Wheeler.

qui a lieu dans l'embrayage de MM. Schuster et Heinreich, de Vienne, où l'armature annulaire *b* (fig. 27) ne touche pas le pôle G de l'enroulement *t*, mais en est séparée par un anneau de bronze *c*, en laissant entre les épanouissements polaires très étendus une lame d'air dont l'épaisseur diminue moins vite que l'usure de *c*.

Parmi les *arrêts à distance* commandés par l'électricité récemment mis à la disposition des ingénieurs, je citerai la nouvelle forme de l'arrêt Monarch, construit par la Consolidated Engine Stop C°, 100 Broadway, New-York. Dans ce système, comme le savent nos

Digitized by Google



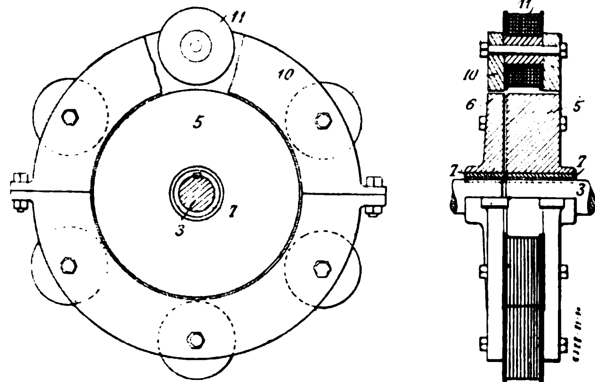


Fig. 24 à 26. — Embrayage de la General Electric C°.

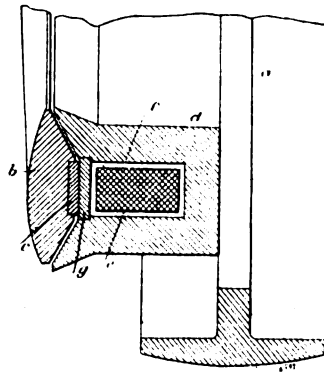


Fig. 27. — Embrayage Schuster et Heinreich.

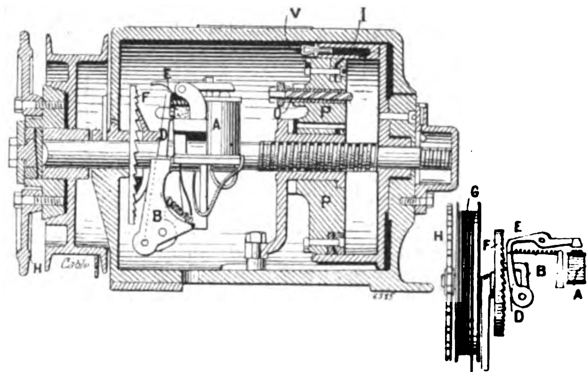


Fig. 28 et 29. — Arrêt Monarch.

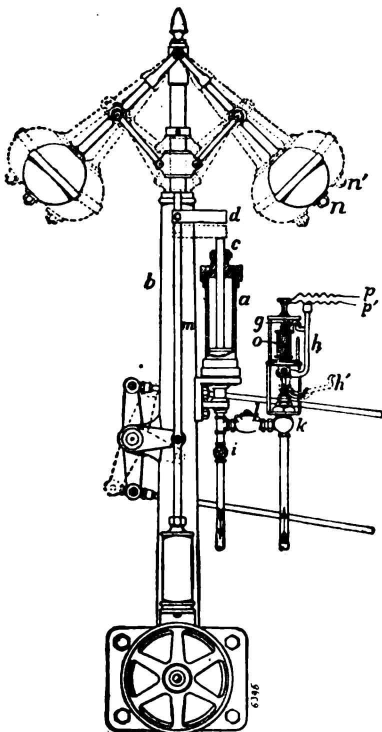


Fig. 30. — Arrêt Corliss.

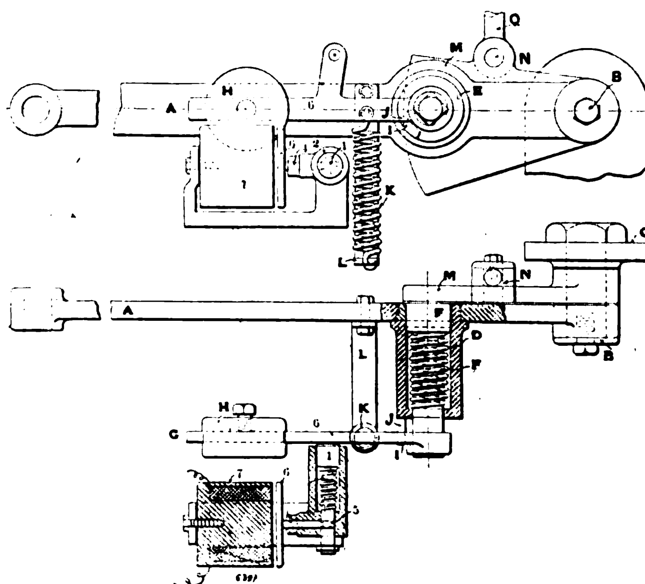


Fig. 30 et 32. — Arrêt Teiper.

***

lecteurs, la valve de prise de vapeur de la machine soumise à cet arrêt est commandée par l'axe d'un petit treuil G (fig. 28) et une roue de chaîne H, solidaire du tambour G, lequel est, en temps ordinaire, retenu par le rochet F. Lorsqu'on fait passer, d'un point quelconque de l'atelier, un courant dans l'électro A, la détente E lâche le levier D qui, lancé par son ressort, frappe le cliquet B et lâche le rochet F, de sorte que le poids attelé à la corde de G fait immédiatement tourner H. La rotation de l'arbre de H entraîne par la vis S, le piston P d'un dash-pot à résistance réglée par la soupape V, et, vers la fin de la course de P, la soupape O s'ouvre par sa butée sur le fond du cylindre, de sorte que la fermeture de la prise de vapeur se termine vivement et avec force.

La même compagnie construit aussi l'arrêt de Corliss représenté par la figure 30. Dès que le courant passe en pp_1o, le levier h, déclanché, en h_1, ouvre le robinet k, qui, par la retenue l, admet de la vapeur sous le piston du cylindre a, et soulève ainsi, par cd, les boules n du régulateur dans leur position d'arrêt n_1, où il empêche la reprise des déclics de la distribution (1).

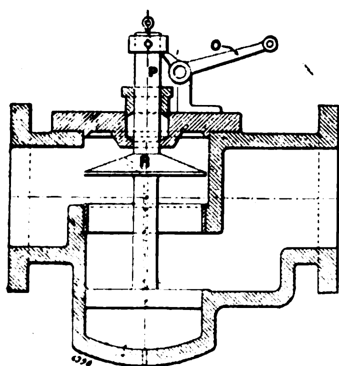


Fig. 33. — Détail de la prise de vapeur de l'arrêt Teiper.

L'arrêt de M. H.-J. Teiper, Rochester, New-York, fonctionne comme il suit. En marche normale, le levier A (fig. 31 à 33), oscillé par le moteur autour de B, entraîne le levier G, à contrepoids H, appuyé sur le talon J par le ressort K et sur I par le ressort F, de sorte que la tête E de sa tige D affleure, sans le toucher, le levier M, fou sur B, et relié par NQO (fig. 32) à la prise de vapeur PR (fig. 33). Dès que le moteur s'accélère dangereusement, l'inertie du poids H l'emporte sur le ressort K, et déclanche le levier G de IJ, de sorte que le ressort F repousse E au droit de M, qu'il entraîne en fermant la prise de vapeur.

L'arrêt à distance se produit en faisant passer un courant dans l'électro 7, qui, attirant son armature 6, déclanche en 5 le taquet l, que son ressort amène sur le trajet du levier A, de manière qu'à la descente de A, il soulève G, comme précédemment l'inertie de son poids H (2).

(*A suivre*)

G. Richard.

LIGNE
DE TRACTION DE SAINT-GEORGES DE COMMIERS A LA MURE
A COURANT CONTINU A 2400 VOLTS

Le 10 août 1903 a été inaugurée avec succès la traction électrique des trains de charbon sur la ligne de chemin de fer d'intérêt général à voie étroite de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure.

On sait que ce chemin de fer est exploité par l'Etat dans des conditions particulière-

(1) *Scientific American Supplement*, 11 juillet, p. 23009.

(2) *Power*, avril 1903, p. 31.

Digitized by Google

ment difficiles, et partant, quelque peu onéreuses, et que l'Administration des ponts et chaussées a en vue, par l'adoption de l'électrité, de réaliser d'importantes économies et de porter la capacité de trafic de la ligne de 35 000 à 65 000 fr par kilomètre.

C'est dans ce but qu'elle a décidé de procéder à des essais de traction électrique pour la remorque des trains de charbon, non seulement à des épreuves de quelque durée, mais à des essais véritablement pratiques, et prolongés pendant une période de temps suffisante pour qu'il soit permis d'en tirer des conclusions définitives.

Il est intéressant d'abord de définir les conditions d'établissement de la ligne et la nature du trafic existant; cela nous permettra de mieux préciser les circonstances qui ont

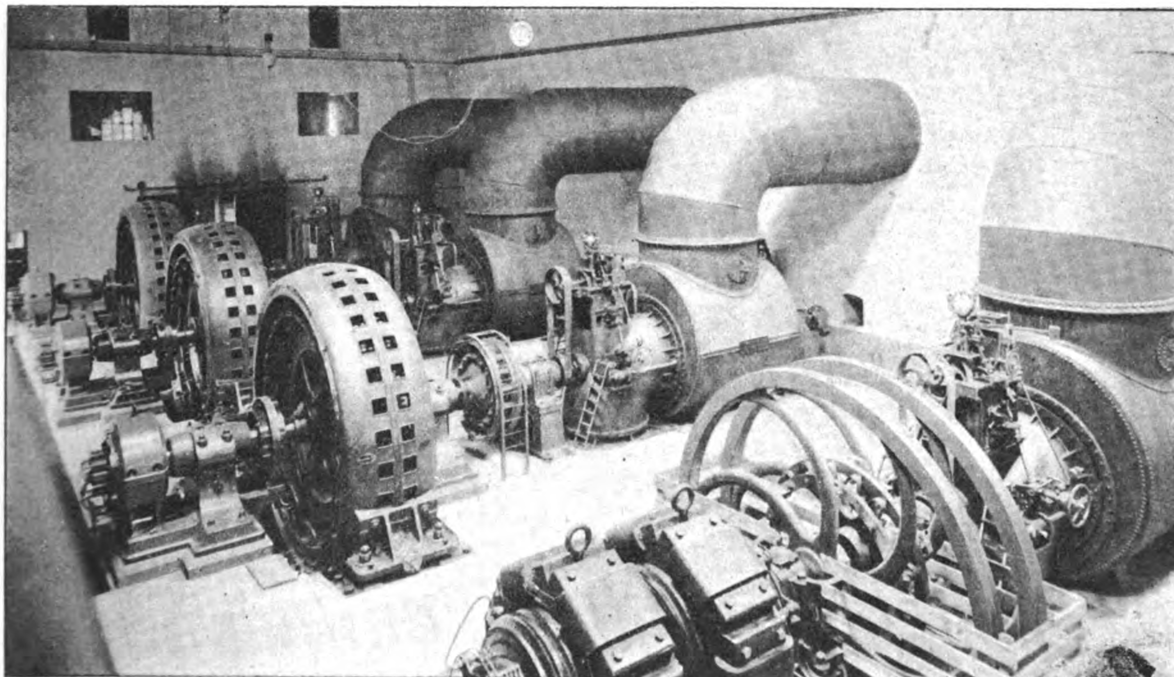


Fig. 1. — Vue de la salle des machines de l'usine d'Avignonnet.

conduit l'administration du chemin de fer à procéder aux essais dont il vient d'être parlé.

Cela permettra ensuite de définir plus nettement et avec plus de précision le programme qui a été imposé aux constructeurs, et enfin nous verrons comment ce programme a été réalisé par la société l'Industrie Electrique, de Genève, habituée à faire avec succès, sous l'habile direction de son ingénieur, M. René Thury, emploi des distributions de courant continu à tension élevée.

I. Données générales. — Le chemin de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure a une longueur totale de 31 km.

Il est établi à voie unique de 1 m de largeur.

Sur les 25 premiers kilomètres il présente une rampe continue de 0,0275 m par mètre, interrompue seulement par les paliers de trois stations.

Le rayon minimum des courbes est de 100 m.

Les courbes règnent sur les deux cinquièmes environ du développement total.

La traction est assurée par 12 locomotives-tenders à 3 essieux moteurs et un essieu avant-porteur, toutes du même type, mais de puissances différentes.

Digitized by Google

Les numéros 1 à 10 d'un poids total de 37 tonnes en ordre de marche et d'une puissance de 225 chevaux ;

Les numéros 11 et 12, d'un poids total de 41 tonnes et d'une puissance de 275 chevaux.

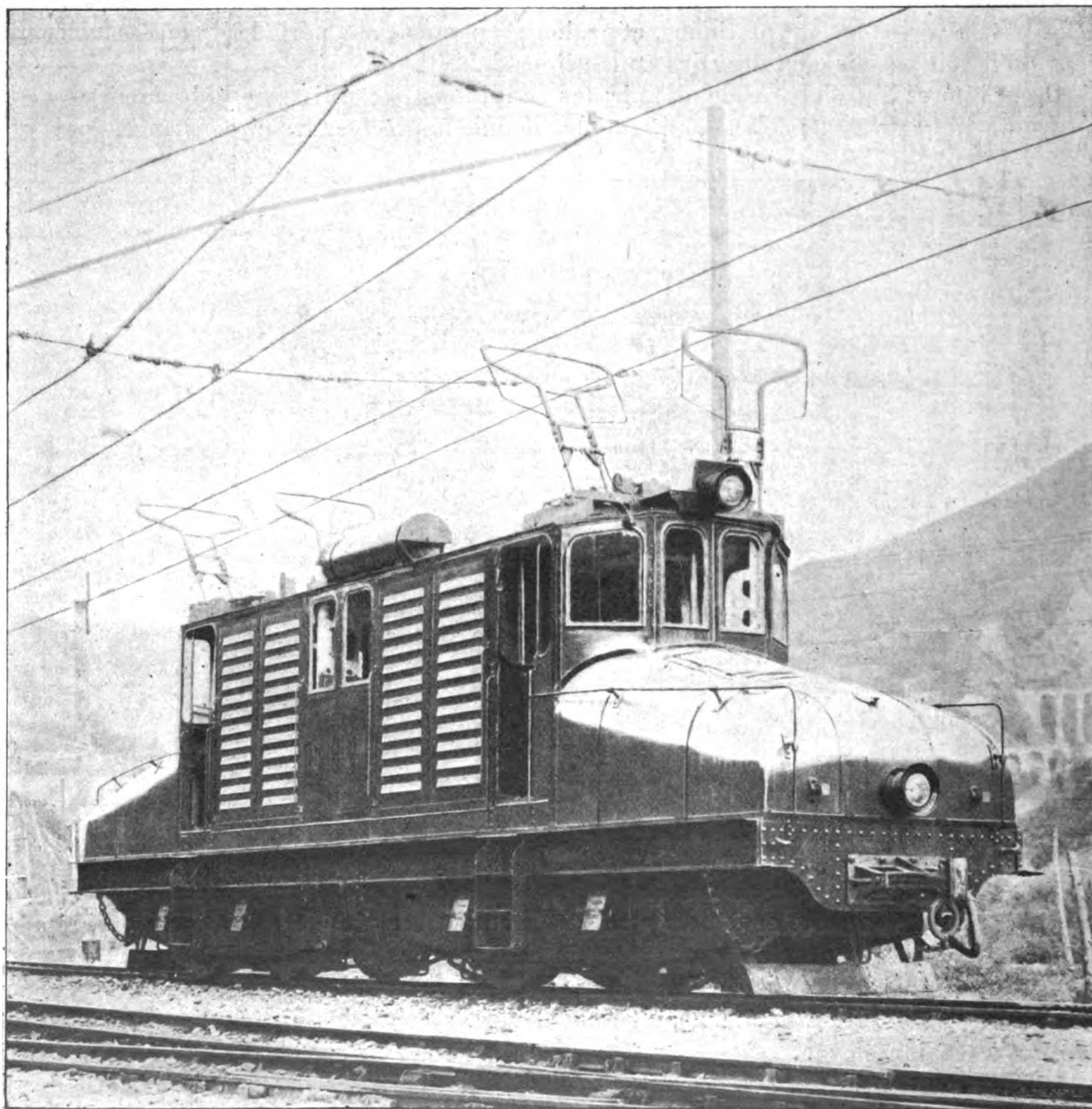


Fig. 2. — Vue de la locomotive de La Mure (50 tonnes, 500 chevaux).

En 1902, la recette brute générale de la ligne a atteint le chiffre de 912 000 fr.

Le produit net a été de 417 000 fr avec un coefficient d'exploitation de 0,54.

Plus des deux tiers de la recette proviennent du transport, à la descente, des anthracites du bassin de la Mure.

Sur la section de 5 km comprise entre Saint-Georges-de-Commiers et la Motte-d'Aveil-

Digitized by Google

lans, gare de formation des trains de charbon, la recette kilométrique annuelle atteint le chiffre de 35 000 fr.

II. Circonstances qui ont conduit l'administration du chemin de fer a procéder a des essais de traction électrique. — La distance moyenne de 7 à 8 km qui sépare les gares d'évitement, ne permet pas de mettre en marche de 4 heures du matin à 9 heures du soir, plus de 17 trains dans chaque sens. La disposition des lieux et les déclivités du profil en long ne permettent pas d'en installer de nouvelles.

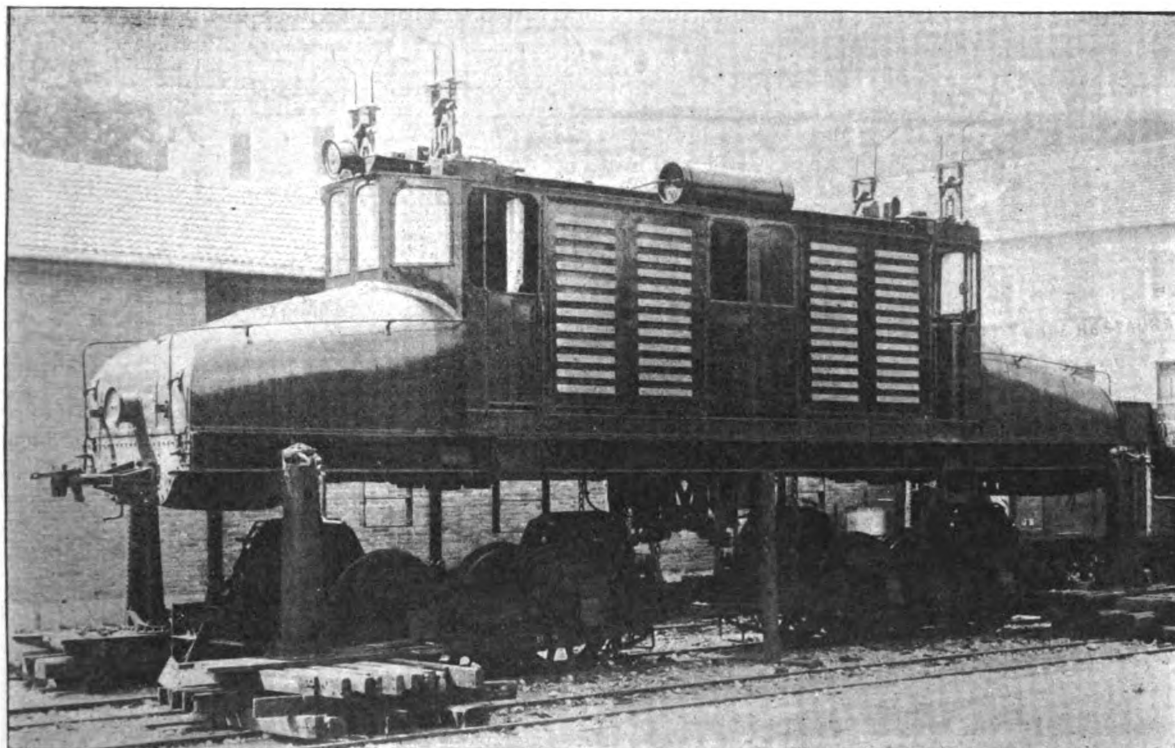


Fig. 3. — Vue de la locomotive en cours de montage.

Les locomotives à vapeur 1 à 10 ne peuvent remorquer, à la montée, plus de 10 wagons houilliers vides.

Les locomotives 11 et 12 plus de 14 wagons vides.

Il paraît impossible de construire, pour une ligne à voie étroite, des locomotives à vapeur plus puissantes.

De ces deux circonstances (limitation du nombre des trains par les conditions d'établissement de la ligne — limitation du nombre des véhicules remorqués par chaque train), il résulte que la capacité du trafic, avec service de jour seulement, est limitée à un tonnage correspondant à 35 ou 40 000 fr de recette kilométrique.

En 1900, date de la plus récente crise des charbons, cette limite paraissait devoir être promptement atteinte.

A la même époque, le prix des agglomérés de houille de premier choix qu'exige le chauffage des locomotives atteignait le prix de 44 fr la tonne en gare de Saint-Georges-de-Commiers. La dépense annuelle, de ce chef, s'élevait à 165 000 fr.

Digitized by Google

D'autre part, la majoration du prix des métaux portait à 80 000 fr environ les dépenses annuelles d'entretien et de grosses réparations des locomotives à vapeur.

Les dépenses du chapitre *matériel et traction* atteignaient 59 p. 100 du total des frais d'exploitation.

Inversement la crise de l'industrie hydro-électrique et l'existence, dans la région, de plusieurs usines génératrices permettaient au chemin de fer de se procurer de l'énergie dans des conditions avantageuses.

Enfin, tous les ingénieurs électriciens affirmaient qu'il était possible de construire, même pour la voie étroite, des locomotives électriques d'une puissance bien supérieure à celle des locomotives à vapeur.

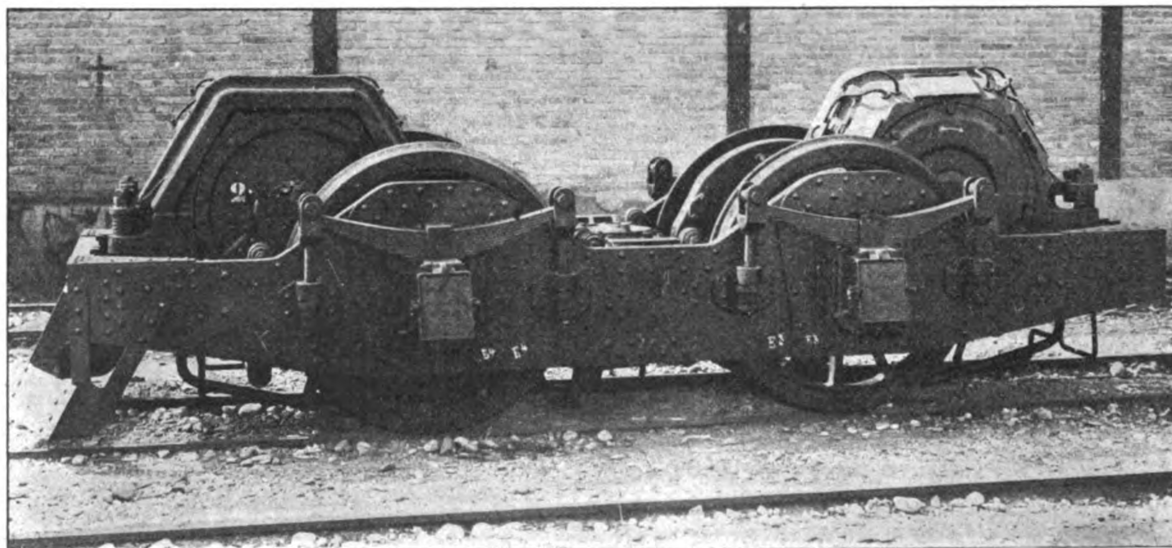


Fig. 4. — Vue d'un des bogies de la locomotive.

C'est sous l'empire de ces circonstances qu'il a été décidé d'entreprendre, avec une seule locomotive électrique, mise en service régulier pendant deux ans, entre les gares de la Motte-les-Bains et de la Motte-d'Aveillans, un essai qui permit de faire un choix entre les divers systèmes en présence, de contrôler les rendements et les dépenses et, surtout, de mettre au point les divers organes nouveaux qu'exige un tracteur puissant pour ligne à voie étroite et à fortes déclivités.

III. Programme imposé aux constructeurs. — Le programme adressé aux constructeurs se résumait comme il suit :

Etablir une locomotive électrique, à adhérence simple et totale, de 40 tonnes environ, à quatre essieux moteurs répartis en deux bogies, d'une puissance totale de 500 chevaux, capable de remorquer et au besoin de démarrer :

A la montée, sur rampe continue de 0,0275 par mètre et à la vitesse de régime de 22 à 23 km à l'heure, des trains de 20 wagons houillers d'un poids brut de 110 tonnes ;

A la descente, sous l'action du freinage électrique de la locomotive et du frein à vide continu, automatique et modérable dont sont armés tous les véhicules, le même train de 20 wagons à pleine charge, d'un poids brut de 300 tonnes.

IV. Système adopté. — Parmi les diverses propositions qui lui ont été soumises, l'admi-

Digitized by Google

nistration du chemin de fer a retenu, comme étant de beaucoup les moins onéreuses au point de vue des dépenses de premier établissement et les plus avantageuses en ce qui concerne la consommation d'énergie et le rendement garanti, les propositions déposées, conjointement et solidairement, par la Compagnie générale de construction de Saint-Denis et la Compagnie de l'Industrie Electrique (brevets Thury).

Elles comportent :

1° L'emploi du courant continu à haute tension ;

2° L'établissement d'une ligne aérienne de travail à deux fils en cuivre de haute conductibilité, à section en forme de huit, présentant chacun 114 millimètres carrés de section, suspendus sur fils transversaux et soigneusement isolés du sol et entre eux par 3 isolateurs en cascade.

3° L'éclissage de la voie ferrée avec fils en cuivre ronds de 8 mm de diamètre.

4° La distribution du courant par le système dit à trois fils, avec tension de 2 400 volts entre les fils extrêmes, soit 1 200 volts entre chaque fil de contact et le rail constituant le fil neutre.

5° La prise de courant par quatre archets (deux par pont) du genre Siemens.

6° L'emploi de quatre moteurs de 125 chevaux chacun (deux par pont), excités en série, travaillant en permanence en série sous la tension de 600 volts chacun et 175 ampères avec communication à la terre entre le second et le troisième moteur, pour limiter à 1 200 volts la tension maxima entre les enroulements et la masse.

7° L'installation, à chaque extrémité de la cabine, d'un poste de manœuvre comprenant :

Deux rhéostats de démarrage combinés de manière à subdiviser le passage du zéro au direct en 96 sections ;

Un coupleur permettant la marche avant et arrière, comme aussi le freinage avant et arrière ;

Un interrupteur coupe-étincelle automatique ;

Une manivelle du frein à vis actionnant 16 sabots ;

Un appareil de mise en marche de la pompe du frein à vide et de réglage de la valve ;

Une pédale commandant la boîte à sable ;

Une petite manivelle commandant les vannes d'arrosage des bandages des roues de la locomotive ;

Les voltmètres, ampèremètres et manomètres nécessaires pour contrôler la marche.

Les mises en marche et les coupleurs des deux postes sont conjugués mécaniquement et commandés synchroniquement et à volonté de l'avant ou de l'arrière de la cabine.

8° L'établissement, dans la cabine, de résistances permettant d'absorber, à la descente, le courant produit par le freinage électrique de la locomotive, les moteurs travaillant en génératrices. Ces résistances sont calculées assez largement pour assurer le freinage continu d'un poids de 150 tonnes, c'est-à-dire pour utiliser tout le poids adhérent de la locomotive. Elles permettent de freiner à toutes allures comprises entre 2 et 28 km : h.

9° L'installation d'un petit moteur série, à 1 200 volts de 4 chevaux environ, actionnant une pompe rotative à vide.

10° Un parafoudre, un déclencheur automatique et un coupe-circuit fusible par pont.

11° L'appareillage électrique de la lumière et du moteur du frein à vide, permettant de fonctionner à volonté, les archers levés à la montée, les archers baissés à la descente en empruntant, dans ce dernier cas, le courant aux moteurs pendant le freinage électrique.

V. Matériel électrique. — Les figures qui accompagnent notre texte donnent une

Digitized by Google

idée assez nette du matériel générateur et moteur, ainsi que de la distribution et des dispositions de la ligne.

Nous ne nous étendrons pas sur la production du courant à haute tension nécessaire à la traction des trains

Il est produit par une machine double du genre Thury, installée à l'usine d'Avignonnet. On sait que l'usine d'Avignonnet est une importante usine construite par la Société Grenobloise de Force et Lumière, et qui utilise une chute du Drac d'environ 20 m et d'un débit de 35 m³.

1° *Matériel générateur.* — Les données générales de la machine génératrice nous ont été communiquées par les constructeurs, et la figure 1 qui représente une vue entière de l'usine d'Avignonnet, permet de voir en premier plan une machine génératrice Thury et la turbine affectée au service de la ligne de La Mure.

La machine génératrice fournissant le courant nécessaire à la marche des locomotives est à 6 pôles, du type Thury ; elle est actionnée par une turbine Piccard au moyen d'un accouplement Raffard formé de deux demi-volants du poids de 4 000 kg chacun. Ces volants, frettés, ont 3,60 m de diamètre. Elle est hyper-compound et donne 180 ampères sous 2 × 1 350 volts, à la vitesse de 250 tours : minute ; à vide la tension est 2 × 1 200 volts. Elle comprend deux induits et deux inducteurs montés sur un bâti commun, à deux paliers. Le bâti est isolé du sol.

L'alésage de cette machine est de 1 250 mm, la longueur d'armature : 550 mm.

L'induit est lisse, enroulé en parallèle. A chaque extrémité se trouve un collecteur de 750 mm de diamètre, 150 mm de longueur et portant chacun 4 axes porte-charbon à 4 charbons par axe.

Les paliers, à graissage à bague, ont chacun 215 mm de diamètre et 550 mm de longueur.

L'arbre de la dynamo a un diamètre maximum de 52 cm, nécessité par sa grande longueur 3,275 m entre axes :

Le poids total, y compris un demi-volant, est égal à 33 400 kg, soit :

Induits	2 × 4 500 =	9 000 kg
Arbre et douille	=	2 700 »
Bâti, paliers, équerres	=	4 500 »
Hexagones	2 × 6 600 =	13 200 »
Demi-volant	=	4 000 »
Total	=	33 400 kg.

2° *Voie et matériel roulant.* — Les données et dimensions de la locomotive et de ses moteurs, sont, avec les données principales du service, reproduites dans le tableau suivant :

Conditions du trafic :	
Largeur de la voie	1 m
Déclivité maxima	0,0275 »
Rayon minimum des courbes	100 »
Poids du train à remorquer (non compris le poids de la locomotive) à la montée	100 tonnes
Poids du train à remorquer (non compris le poids de la locomotive) à la descente	300 »
Vitesse de régime de la locomotive	22,500 km à l'heure
Dimensions de la locomotive :	
Longueur totale du châssis principal	11,350 m
Longueur totale entre tampons	12,510 »
Longueur de la cabine	7,300 »
Hauteur de la cabine au-dessus du rail	3,720 »
Largeur maxima de la cabine	2,400 »

Digitized by Google

Nombre de bogies, à deux essieux	2 »
Nombre d'essieux moteurs	4 »
Diamètre des roues au roulement	1,200 »
Empattement total	7,760 »
Empattement de chaque bogie	1,850 »
Distance d'axe en axe des bogies	5,910 »
Hauteur des tampons au-dessus du rail	0,800 »
Hauteur des archets complètement levés	5,125 »
Nombre des archets (2 par pont)	4 »

Poids de la locomotive :

Poids total adhérent, à vide	50 000 kg
Poids total adhérent, en ordre de marche	50 500 »
Poids adhérent par essieu, à vide	12 500 »
Poids adhérent par essieu, en ordre de marche	12 625 »

Equipement électrique :

Alimentation par courant continu, avec distribution du système dit à trois fils, à 2 400 volts entre les fils extrêmes, les rails, éclissés électriquement, servant de fil neutre les moteurs fonctionnant en série.

Nombre de moteurs (1 par essieu)	4
Puissance de chaque moteur	125 chevaux
Puissance totale de la locomotive	500 »
Tension normale sur chaque moteur	600 volts
Débit normal	185 ampères
Nombre de tours à la minute, à la vitesse de régime	400
Réduction d'engrenage	1/4

Modes de freinage :

1° Frein électrique, les quatre moteurs travaillant en génératrices sur résistances métalliques ;
2° Frein à vis agissant sur les quatre essieux (16 sabots) ;
3° Frein à vide continu, automatique et modérable, agissant sur les quatre essieux de la locomotive et sur tous les véhicules du train.

L'ensemble de la locomotive est nettement représenté par la figure 2.

Les moteurs sont, ainsi que le représentent les figures 3 et 4, montés sur les bogies supportant le châssis de la machine ordinaire. Ils sont au nombre de quatre et commandent les essieux par l'intermédiaire d'une seule réduction d'engrenage ; le réglage rhéostatique étant adopté, les résistances de réglage sont, avec les contrôleurs, placées à l'intérieur de la caisse. Les résistances sont destinées aussi à servir au freinage, et absorbent l'énergie électrique des moteurs travaillant comme génératrices lors de la descente. On voit, sur le toit des locomotives, à distance suffisante pour pouvoir former deux groupes distincts de polarités opposées, les quatre archets distincts destinés à recueillir le courant; chacun d'eux est en contact avec le conducteur aérien correspondant, et la tension entre les deux conducteurs aériens, et par conséquent entre les deux archets, est de 2 400 volts. L'isolement est assuré par la base, et par la nature même du châssis constituant les archets. La partie frottante de l'archet est composée d'aluminium. La distance des archets est suffisante pour maintenir le courant lors des interruptions correspondant aux aiguillages, interruptions nécessaires, et dont la nature apparaît clairement sur la figure 2.

Aux aiguillages ou croisements, en effet, il faut que le conducteur négatif correspondant à l'une des voies aille prendre sa position au-dessus de cette seconde voie en croisant le conducteur positif de la première.

Cette condition serait irréalisable autrement, et on la résoud toujours par des interruptions. C'est à cette interruption qu'on a recours également dans les croisements de lignes à traction triphasée, où les mêmes conditions se présentent.

Digitized by Google

Au conducteur sont donc substitués, dans la longueur du croisement aérien, deux tronçons isolants de bois paraffiné ou fibre, qu'on voit nettement représentés sur la figure 2, mais, du fait que la ligne est interrompue en ce point, il ne s'ensuit pas nécessairement que le courant soit interrompu sur la voiture, grâce aux deux archets, dont la distance peut dépasser la longueur du croisement aérien : c'est précisément le cas qui se présente à la ligne de La Mure, où le second jeu d'archets continue à recevoir le courant pendant que le premier passe la section isolante, et où le premier reprend contact avec les conducteurs quand le second jeu d'archets passe sous l'interruption.

Il convient d'ajouter quelques mots au sujet du réglage rhéostatique adopté sur cette locomotive. On conçoit qu'avec une tension aussi élevée certaines précautions sont de rigueur, et le contrôleur Thury les réalise parfaitement : il se compose pour chaque poste de deux organes enclenchés de manière que chaque cran du premier soit divisible en un certain

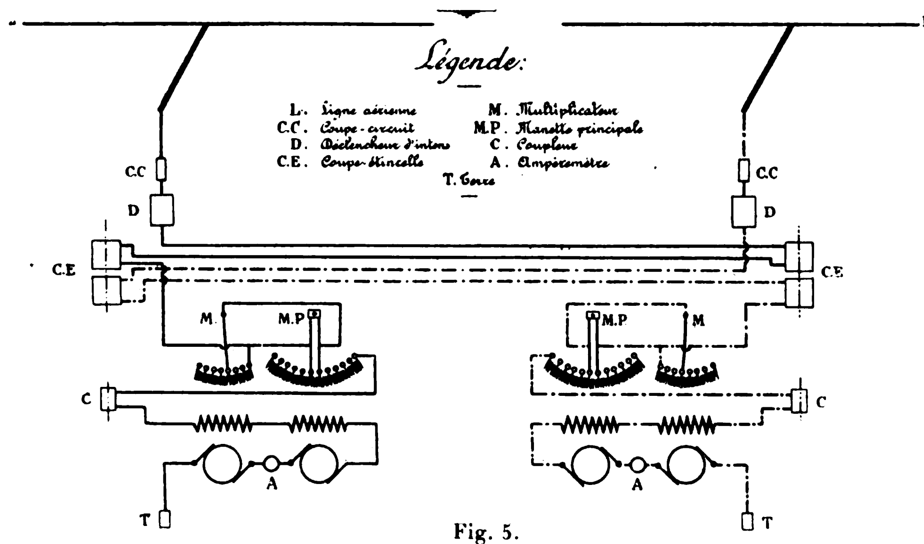


Fig. 5.

nombre de crans du second, de telle sorte que le nombre de crans utilisables est multiplié dans une proportion considérable : avec 8 crans du premier système, et 12 crans du second, on voit que la suppression des résistances se fait avec 96 crans, ce qui assure le démarrage en progression insensible et lui assure une très grande douceur. Le fait a été vérifié aux essais le 10 août, qui ont paru à tous donner entière satisfaction.

Dans une premièrs expérience la locomotive d'essais a remorqué des trains de voyageurs de 50 tonnes et un train de 10 wagons houillers de 50 tonnes.

Dans la seconde expérience, il a remorqué 20 wagons houillers à vide sur une rampe de 27 p. 1 000.

Dans la troisième expérience, il a effectué la descente de 20 wagons chargés, constituant un poids d'environ 100 tonnes.

Bien entendu la locomotive comporte un poste de commande à chaque bout et les deux appareils de commande sont affectés chacun à la commande des deux moteurs correspondants. Une tige longitudinale et des pignons d'angle assurent le mouvement simultané des contrôleurs, et par conséquent la commande simultanée des deux groupes moteurs.

La netteté et la simplicité du croquis ci-joint (fig. 5) qui représente la réalisation de ce mode de commande, nous dispensent d'ailleurs d'insister davantage sur cette intéressante installation.

J.-W. Blackstone.

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉCLAIRAGE

Les différents systèmes d'éclairage électrique des trains, par **R. Gœtze**. *Centralblatt f. Accumulatoren-Elementen und Accumobilenkunde*, t. VI, p. 65, 79, 96, 105, 117, 142, 153, 167, 177, 15 mars, 1er avril, 15 avril, 1er mai, 15 mai, 15 juin, 1er juillet, 15 juillet, 1er août.

L'auteur passe en revue les différents systèmes d'éclairage électrique appliqués sur les trains :

1° Avec batteries de piles ;

2° Avec machines dynamo-électriques ;

3° Avec batteries d'accumulateurs ;

4° Avec dynamos et batteries d'accumulateurs.

Il s'étend particulièrement sur cette dernière solution qui donne lieu aux diverses combinaisons suivantes :

4*a*. Une dynamo et une batterie d'accumulateurs pour le train entier ;

4*b* Une dynamo pour le train entier et une batterie d'accumulateurs par voiture ;

4*c* Une dynamo et une batterie d'accumulateurs par voiture.

Le système 4*a* a d'abord été employé par la « Königl-Eisenbahn Direction » à Francfort ; par « London-Brighton and South-Coast Railway » de 1884 à 1888 ; par la « Great Northen Railway C° » en 1888.

Les premiers essais du système 4*b* ont été entrepris en Pensylvanie en 1882, puis entre Terby et Manchester en 1888 ; entre New-York et Floride ; en 1891 les chemins de fer autrichiens l'ont utilisé sur un train de 7 wagons-salon et un fourgon.

Le système 4*c* a été breveté en 1887 par la Société anonyme pour le transport de la force par l'électricité. En 1891, Garland proposait d'actionner la dynamo au moyen de l'air comprimé. Mais c'est surtout pendant ces dernières années que les essais de ce système ont repris.

Parmi les nombreuses installations avec batteries seules, l'auteur en décrit deux qui sont typiques : l'une (chemins de fer de l'Etat danois) dans laquelle la source est disposée pour l'éclairage du train entier ; l'autre (wagons-postes allemands), dans laquelle chaque voiture a sa batterie particulière.

a. *Eclairage des chemins de fer de l'Etat danois.* — Chaque train est muni de quatre batteries, dont deux sont disposées dans la voiture de tête et les deux autres dans la voiture de queue. Chaque batterie comporte 36 éléments d'une capacité de 130 ampères-heure pour une intensité de 6 ampères. Les deux batteries de

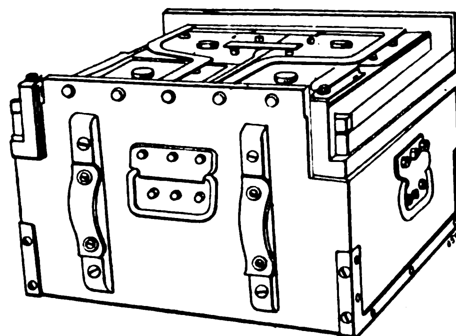


Fig. 1. — Type de caisse avec 4 éléments de l'Accumulatoren Fabrik A.-G. pour l'éclairage des wagons de l'Etat danois.

chaque voiture débitent en parallèle sur un circuit particulier, de sorte que la moitié des lampes installées dans un wagon est alimentée par les batteries de la première voiture, et l'autre moitié, par les batteries de la dernière voiture.

Chaque élément renferme 6 positives et 7 négatives montées dans un bac d'ébonite muni d'un couvercle en verre. Chaque série de 4 éléments est disposée dans une caisse en bois (voir figure 1) munie extérieurement des rails de contact. En poussant ces boîtes dans les compartiments ménagés spécialement sous la voiture, le contact s'établit automatiquement entre ces rails et des ressorts. Le poids d'une caisse de 4 éléments est de 85 kg, de sorte que la batterie double contenue dans chaque voiture pèse 1,5 tonne.

La figure 2 donne le schéma du montage. Comme on le voit, les deux conducteurs positifs sont d'un côté, pendant que les deux conducteurs négatifs sont de l'autre côté des wagons. Chaque compartiment renferme 2 lampes de 8 bougies pour les 1re et 2e classes, et 2 lampes

Digitized by Google

de 5 bougies pour les 3es classes. Chacune des lampes est branchée sur un circuit spécial.

Pour éviter un travail inégal des deux batteries en parallèle, on dispose dans le circuit une petite résistance réglable *w*. Une autre résistance plus grosse W est placée dans le circuit général des deux batteries et sert à maintenir

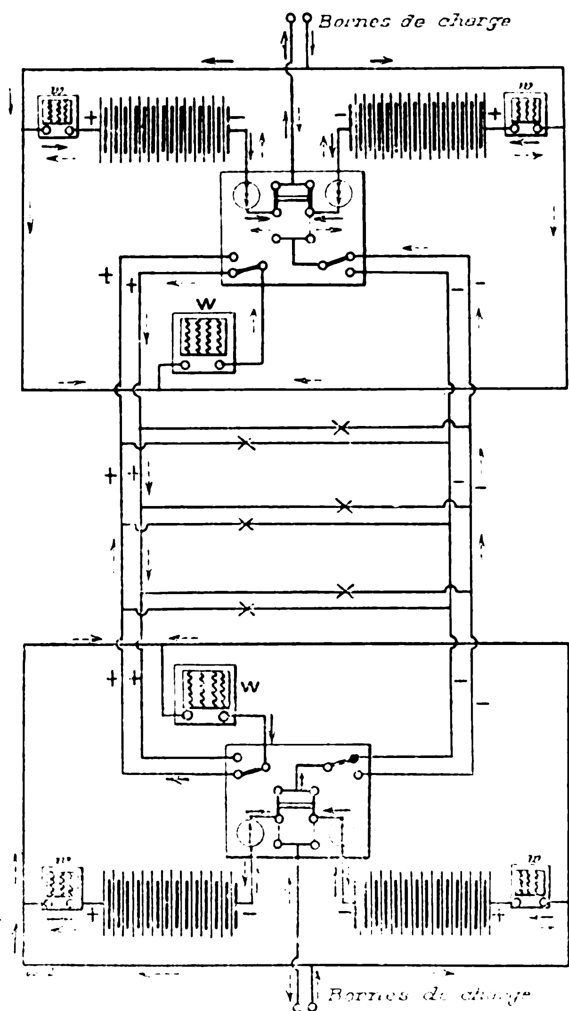


Fig. 2. — Schéma du dispositif employé pour l'éclairage des trains de l'État danois.

constante, pendant la décharge, la tension aux bornes des lampes. Ce réglage se fait à la main.

Les batteries sont fournies en partie par l'« Accumulatoren Fabrik A.-G. » de Berlin et en partie par la « Kölner-Accumulatoren-Werken Gottfried Hagen » de Kalk, près de Cologne. La recharge des batteries se fait en trois ou quatre heures, aux stations terminus.

Ce système employé depuis de longues années donne toute satisfaction. Mais il convient de remarquer que les parcours sont très courts et ne dépassent pas quatre heures, tandis que les

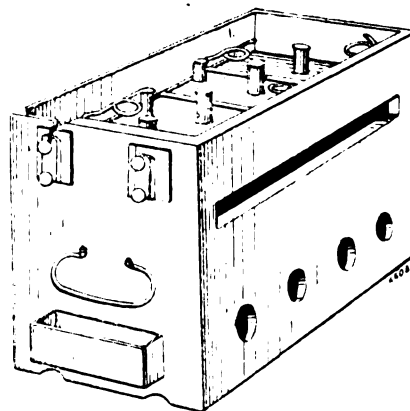


Fig. 3. — Type de caisse avec 4 éléments de Bœse et Cie pour l'éclairage des wagons-postes allemands.

stationnements atteignent dix heures, ce qui permet de recharger très facilement. Ce sont évidemment là des conditions exceptionnelles.

b. *Eclairage par voitures séparées.* — Ce système est employé sur une grande échelle dans les wagons-postes allemands. Les voitures

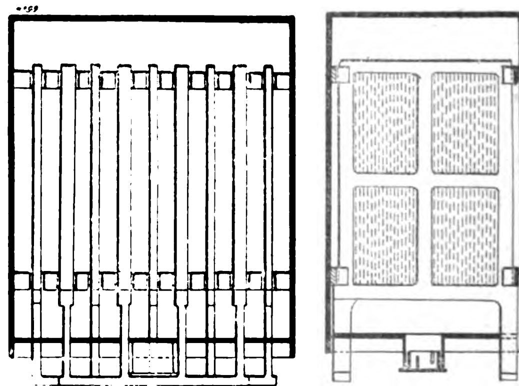


Fig. 4 et 5. — Détail d'un accumulateur Bœse.

postales de 12 m de longueur possèdent 2 batteries de 16 éléments chacune ; les voitures de 10 m qui servent en même temps de fourgon à bagage n'ont qu'une batterie de 16 éléments. Une batterie comprend 4 caisses de 4 éléments. La figure 3 montre une caisse fournie par la fabrique Bœse et Cie. La capacité des éléments est de 120 ampères-heure.

Dans les anciennes batteries, chaque élément

Digitized by Google

(voir fig. 4 et 5), renfermait 4 positives et 5 négatives : les nouvelles batteries sont montées à 7 plaques seulement.

Les positives sont des plaques à grandes pastilles de matière active ; les négatives sont du type à grille. Les bacs sont en celluloïd ; ils sont contenus par 4 dans une caisse en bois qui porte à la partie inférieure des trous permettant d'inspecter l'intérieur des éléments. Le poids total d'une batterie de 4 caisses (16 éléments) est de 184 kg : les batteries nouvelles pèsent seulement 172 kg. La figure 6 représente la disposition intérieure d'une voiture ; l'installation comprend 7 lampes de 12 bougies.

Il y a en Allemagne, environ 1 500 wagons-postes ainsi installés. Cette disposition est évidemment idéale. La charge peut se faire soit en laissant les éléments dans la voiture et en chargeant aux stationnements, soit en remplaçant les batteries déchargées par des batteries chargées en usine. Pour les voitures à voyageurs et dans le cas de longs parcours, ce système nécessite l'emploi de batteries à grande capacité. D'autre part, la recharge, qu'elle se fasse sur la voiture ou à l'usine, est une source d'inconvénients : dans le dernier cas, elle nécessite la présence d'un grand nombre de batteries de réserve ; dans le premier cas, elle est une entrave à l'exploitation générale.

Système Stone. — S'étendant sur le système

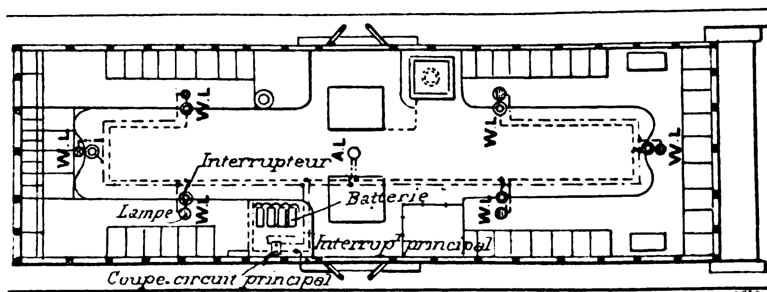


Fig. 6. — Intérieur d'un wagon-poste allemand.

d'éclairage par dynamo et batterie sur chaque voiture, l'auteur décrit en détail le système Stone. Nous ne suivrons pas cette longue description qui a déjà été faite dans ces colonnes par M. Ch. Jacquin [1].

En Angleterre, ce système a été employé avec des accumulateurs de « Electric Power Storage C° » ; en Allemagne, avec les plaques Bœse de l' « Accumulatoren-und Elektricitätswerke A. G. »

Le professeur Wedding qui a fait des essais sur le système Stone a trouvé que la vitesse de la dynamo ne varie que de 865 à 870 tours par minute pendant que la machine qui l'actionne monte de 433 à 840 tours par minute. Par suite de cette faible variation de vitesse, la tension des lampes ne varie presque pas (15,9 à 16,0 volts). Le rendement est très faible ; il varie entre 41,7 et 21,9 p. 100 par suite du glissement de la courroie.

En effet la dynamo ne tourne qu'à 865 à 870 tours par minute, alors qu'elle devrait tourner à 1 732 à 3 360 tours par minute s'il n'y avait pas de glissement. Il en résulte une perte importante d'énergie et une usure assez rapide de la courroie.

Pour réduire autant que possible cette perte, on choisit des rapports différents de poulies dans les différents cas ; ces rapports varient de 2,8 à 7,2.

En Angleterre, 12 000 voitures sont équipées avec le système Stone. Dans quelques trains, il n'y a qu'une seule dynamo, et chaque voiture possède une ou deux batteries.

En Allemagne, 120 voitures sont munies de ce mode d'éclairage.

Système Moskowitz. — Nous donnerons plus de détails sur ce système peu connu. Il est employé depuis 1896 en Amérique. La dynamo actionnée par une poulie sur l'essieu, renferme un enroulement différentiel qui donne une tension constante de 40 volts pour une vitesse de 30 km : heure et plus. Au-dessous de 30 km : heure les lampes sont alimentées directement par une batterie d'accumulateurs. Lorsque la

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 418, 20 septembre 1902.

Digitized by Google

vitesse atteint 30 km : heure et que la tension de la dynamo est de 40 volts, un conjoncteur automatique dispose cette dynamo en parallèle avec la batterie qui charge. En même temps se trouve disposée automatiquement une petite résistance placée avant les lampes, de façon à maintenir la tension normale de celles-ci qui est 30 volts. L'inversion des pôles, dans le cas d'un changement de sens de marche, est effectuée à l'aide d'un relais polarisé.

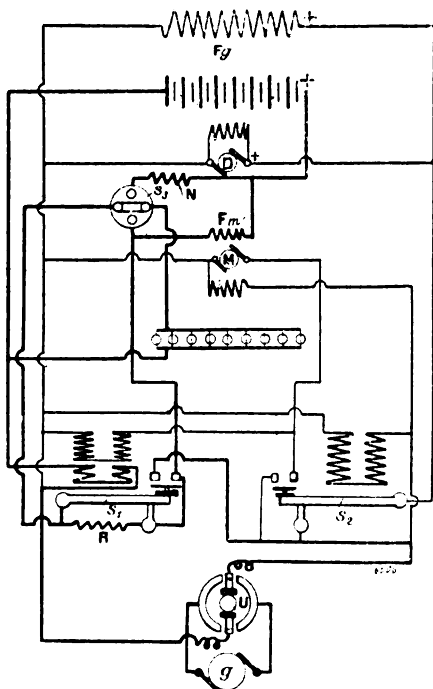


Fig. 7. — Schéma du dispositif Moskowitz pour l'éclairage indépendant des wagons par dynamo et batterie.

Ce système a été perfectionné par la « United States Lighting et Heating C° » de New-York. Dans sa forme la plus nouvelle, il comprend une dynamo suspendue sous la voiture par l'intermédiaire d'un ressort, et une batterie d'accumulateurs disposée en parallèle.

La commande de la dynamo est faite par l'essieu de la voiture, par l'intermédiaire d'une courroie en matière spéciale dont la tension entre les deux poulies est maintenue exactement constante à l'aide d'un ressort.

La figure 7 représente le schéma de la disposition, g est la dynamo à excitation shunt Fg. La dynamo donne déjà sa tension normale à une vitesse de 20 km : heure. Comme les voitures atteignent jusqu'à 100 km : heure, la disposition suivante est employée pour maintenir constante la tension. A cet effet, sur le tableau de distribution dans la voiture, on dispose un petit moteur M et une dynamo D accouplés et dont les armatures sont enroulées sur le même axe. L'ensemble est ainsi très petit. Le moteur M possède, en outre de son enroulement shunt, un enroulement série F_M.

A l'arrêt, c'est la batterie qui fournit le courant aux lampes. Lorsque la vitesse atteint environ 14 km : heure, la dynamo s'excite et commence à donner du courant. La petite dynamo D qui reçoit ce courant se met à tourner comme moteur. Le champ dû à l'enroulement shunt de ce petit moteur est excité par la dynamo principale. Celle-ci atteignant sa tension normale, l'interrupteur électromagnétique s_2 fonctionne, et par l'attraction de la palette, le circuit du petit moteur M est fermé, pendant que l'excitation de la dynamo principale et le courant de la petite dynamo D sont interrompus. Mais, comme le petit moteur M est en mouvement, il entraîne la dynamo D qui alimente le champ de G, de sorte que celle-ci marche alors à excitation indépendante.

A la vitesse du 20 km : heure, la dynamo donne toute sa tension et le levier s_1 de l'interrupteur électromagnétique de gauche est attiré. Le circuit extérieur est ainsi fermé, soit entre la dynamo G et la batterie, soit entre la dynamo, la batterie et les lampes, selon la position du commutateur s_3. Dans le dernier cas, la dynamo principale actionne les lampes et charge la batterie. Par la fermeture de s_1, la résistance R, qui précédemment était en court-circuit, devient disposée dans le circuit des lampes et les protège de l'augmentation de tension. Si on suppose une augmentation d'intensité de la dynamo principale, l'enroulement série du petit moteur affaiblit son champ et la vitesse de ce moteur diminue. Par suite, la dynamo D fournit moins de courant aux inducteurs de la dynamo principale. Il en résulte que la tension de celle-ci reste constante malgré les augmentations de vitesse.

Pendant le jour, si les lampes ne sont pas allumées, on peut charger la batterie à plus haute intensité, de façon à diminuer le temps de charge. On y parvient en introduisant dans l'excitation série du petit moteur M, une résistance introduite à l'aide du commutateur s_3 que l'on

Digitized by Google

manœuvre aussitôt après l'extinction des lampes.

Afin d'éviter qu'au dessous de 20 km : heure la batterie ne se décharge dans la dynamo G, on munit l'interrupteur s_1 d'un enroulement compound qui annule le magnétisme du noyau de fer quand l'inversion vient à se produire. Dans ce cas, le levier de s_1 retombe et le circuit est interrompu entre la batterie et la dynamo.

Pour rendre le sens du courant de la dynamo G indépendant du sens de marche de la voiture, un dispositif placé sur l'axe de la dynamo commande le commutateur U. Lorsque celui-ci a pris la position correspondant au sens de marche, la commande est interrompue par l'action de la force centrifuge.

Système Dick. — Ce système ayant été déjà décrit dans ce Journal par M. Ch. Jacquin [1], nous ne suivrons pas l'auteur dans sa description.

Système Auvert. — Pour la même raison que ci-dessus, nous renverrons à l'article de M. Jacquin [2].

Système Vicarino-Pollak. — Rien de particulier n'étant à signaler dans la description de l'auteur, renvoyons à l'article déjà mentionné [3].

L. J.

ÉLECTROCHIMIE

Origine des impuretés du gaz acétylène. Nouveaux moyens de les éliminer, par **L.-M. Bullier** et **L. Maquenne**. — Communication faite au Congrès international de chimie appliquée, tenu à Berlin du 2 au 8 juin 1903.

Pour obtenir du carbure de calcium chimiquement pur, la première des conditions serait d'employer pour sa préparation des matériaux chimiquement purs. En pratique industrielle il ne peut en être ainsi : la chaux et le charbon contiennent toujours des produits étrangers à leur composition chimique.

Le carbure obtenu est donc nécessairement souillé d'une partie de ces impuretés que l'on retrouvera sous forme de composés définis divers, formés sous l'influence des agents employés pour l'obtention de ce carbure.

Lors de la décomposition du carbure de calcium par l'eau, en vue de la génération du gaz acétylène, une certaine proportion de ces impuretés également décomposables par l'eau donneront naissance à divers produits gazeux qui viendront souiller d'autant le gaz acétylène obtenu.

La chaux et les cendres des charbons employés contiennent comme principales impuretés des sulfates et des phosphates. Ces sels se trouvent réduits au cours de la fabrication du carbure pour donner naissance à des sulfures et phosphures de calcium dont les proportions varieront naturellement avec la quantité des impuretés renfermées dans les matières premières employées, mais aussi suivant la technique employée et les conditions de marche du four électrique.

A côté de ces sulfures et phosphures de calcium, il existe également dans le carbure une quantité notable d'azoture de calcium qui, en se décomposant ultérieurement par l'eau, donnera naissance à une nouvelle impureté du gaz acétylène : l'ammoniaque. Nous avons remarqué que cet ammoniaque existe en plus grande quantité dans le carbure obtenu par coulée, ce qui semble bien indiquer que la formation de l'azoture ne se produit qu'au moment même de la coulée. En effet, le carbure se trouve en contact avec l'air, l'oxygène de ce dernier vient brûler le charbon existant, et l'azote est fixé par le calcium. Cette fixation sera d'autant plus grande que la température du produit au moment de la coulée sera plus élevée. Néanmoins, nous devons faire observer que l'action de l'air sera de courte durée ; le carbure ayant une chaleur spécifique très faible, il se refroidit rapidement et limite ainsi la réaction.

Des essais en cours et des études entreprises par nous sur cette question il semble, en effet, démontré que, plus la température du carbure est élevée, plus le gaz acétylène contient d'ammoniaque.

Nous avons constaté, au sujet des sulfures et des phosphures de calcium, que ces deux sels ne peuvent exister dans le carbure qu'à la condition que ce dernier soit alcalin, c'est sous cet état que se présente le plus généralement le carbure de calcium commercial.

Si, au contraire, le produit a été fabriqué avec un excès de carbone, le charbon jouant le rôle d'acide vis-à-vis du bain de carbure fondu,

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. 432, 21 juin 1902.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 427, 20 septembre 1902.

(3) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 423, 20 septembre 1903.

Digitized by Google

réagit sur le phosphure en en déplaçant le phosphore et donne comme produit final, du carbure exempt de phosphore.

En technique industrielle il est difficile d'obtenir d'une façon constante et à bon marché des produits d'une pureté absolue ; aussi les usines se sont-elles vu obligées de livrer à la consommation un carbure de calcium contenant toujours de petites quantités de phosphure de calcium.

Ce phosphure de calcium, décomposable par l'eau, donne naissance à de l'hydrogène phosphoré qui constitue une impureté du gaz acétylène, la plus gênante de toutes, puisque, par sa combustion, elle donnera des fumées parfois assez abondantes pour troubler visiblement l'atmosphère ; ces fumées, ainsi que nous l'avons reconnu par expérience, sont essentiellement formées par du phosphate d'ammoniaque à l'état d'extrême division.

Ce que nous venons de dire pour les phosphures s'applique également aux sulfures, mais il est une particularité qui, jusqu'à ce jour, n'a pu s'expliquer, c'est celle de savoir sous quel état se trouve le soufre dans le carbure.

Nous avons précédemment parlé de la présence de monosulfure de calcium ; à cet état le soufre n'offrirait aucun inconvénient, ce sel n'étant pas décomposable par l'eau et exigeant la présence d'un acide pour donner naissance à l'hydrogène sulfuré.

Dans un temps, l'un de nous a émis l'idée que la présence de ce gaz provenait de la décomposition du sulfure d'aluminium, mais, de récents essais effectués par nous à cet effet, semblent démontrer que là n'est pas la véritable origine de ce gaz.

Nous nous proposons de revenir sur cette intéressante question et, dès maintenant, nous avons lieu de supposer que le soufre doit exister dans le carbone sous forme de composé ternaire de charbon, de soufre et de chaux décomposable par l'eau en donnant de l'hydrogène sulfuré.

Ces impuretés : hydrogène phosphoré, hydrogène sulfuré, ammoniaque, que l'on pourrait appeler chimiques, ne sont pas les seules qu'on rencontre dans le gaz acétylène. Il en est une autre que l'on peut envisager comme une impureté produite par voie mécanique et dont l'importance a échappé longtemps et échappe même encore aujourd'hui aux acétylénistes : nous voulons parler de la chaux.

La présence de cette chaux que nous avons constatée dès le début de nos travaux sur les impuretés du gaz acétylène, est très facile à déceler et il n'est pas douteux qu'elle ne soit entraînée mécaniquement lors de la préparation du gaz acétylène.

L'état de division de cette chaux est extrême et son élimination complète est une opération délicate, opération qu'il est cependant indispensable de faire. Nous avons, en effet, pu constater que, même après des lavages du gaz et passages dans des colonnes à ponce sulfurique ou chlorhydrique, la présence de la chaux pouvait encore être décelée dans les flammes d'un bunsen à l'acétylène ; son inconvénient est de favoriser l'engorgement des becs en provoquant, à l'entrée du canal de sortie du gaz, un dépôt calcaire qui, peu à peu, en diminue la section.

Connaissant ces impuretés nous allons examiner les divers moyens qui nous permettent de les éliminer. Il convient, tout d'abord, d'arrêter l'ammoniaque ; ce gaz, dont on ne s'était que peu préoccupé, existe dans le gaz acétylène en proportions souvent importantes. Son élimination préalable est d'autant plus nécessaire que cet ammoniaque gazeux réagit sur les épurants employés pour le phosphore et détruit ainsi une partie du produit actif sans autres effets que sa fixation, quand il n'y a pas production de composés secondaires nuisibles.

L'élimination de ce corps est facile ; elle se fait en faisant passer le gaz acétylène sur un produit susceptible de s'y combiner, l'acide sulfurique, par exemple. La seule difficulté réside dans la nécessité d'avoir des enveloppes permettant de renfermer ces produits.

Pour arrêter l'hydrogène phosphoré et l'hydrogène sulfuré, nous avons recours à des agents oxydants.

De nombreux épurants ont été indiqués, tous ont pour but l'oxydation, mais le prix de ces produits en rend l'emploi difficile.

Pour qu'un épurant soit parfait, il faut :

1° Qu'il brûle complètement l'hydrogène sulfuré et phosphoré et n'oxyde pas le gaz acétylène ;

2° Que son état physique permette au gaz de passer facilement dans toute sa masse sans offrir une résistance trop forte ;

Digitized by Google

3° Enfin, que son prix soit peu élevé de façon à ne pas grever le prix du mètre cube de gaz acétylène.

Nous croyons avoir réalisé ces divers desiderata au moyen d'un nouveau composé solide à base d'hypochlorite alcalin, produit résultant de la double décomposition entre l'hypochlorite de chaux et le sulfate de soude cristallisé sans adjonction d'eau. Pour préparer ce produit, nous mélangeons le sulfate de soude cristallisé et le chlorure de chaux en proportions qui varient suivant la composition désirée, par exemple, soixante parties de chlorure de chaux du commerce et quarante parties de sulfate de soude cristallisé en poudre, puis nous comprimons le mélange ; une double décomposition se produit, qui donne naissance à de l'hypochlorite de soude et à du sulfate de chaux cristallisé ; ce dernier qui fait prise comme le plâtre avec l'eau de cristallisation du sel donne au produit la texture cherchée.

Le produit se présente sous forme de blocs assez compacts, très poreux ; il donne une épuration chimique parfaite.

Reste la chaux : devant l'insuccès obtenu par lavages ou passages sur des produits acides, nous avons pensé à opérer une filtration du gaz acétylène au travers des substances convenables ; dans ces conditions nous obtenons une élimination complète de la chaux.

Après ces diverses épurations, l'acétylène brûle avec une flamme parfaite, ne produisant plus aucune fumée ni vapeur sulfureuse, enfin ne donnant plus au spectroscope le spectre du calcium.

DIVERS

Forme simple de l'interrupteur de Wehnelt,

par **L. Zehnder**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 417-421, *septembre* 1903.

Le pôle positif est formé par une tige de cuivre de 5 mm de diamètre S (fig. 1) à l'extrémité de laquelle est soudé un fil de platine P. Par-dessus la tige S est enfilé un tube de cuivre de 8 mm de diamètre, rétréci à ses deux extrémités, de manière que la tige S et le fil P passent dans des trous juste de leur diamètre. Le cône inférieur du tube doit être allongé afin que le fil P soit aisément guidé dans l'ouverture. Le tube M est fendu de manière à faire ressort ; la tige S y passe à frottement et peut être fixée à la hauteur convenable par une vis de pression K (fig. 2) ; en face de cette vis, le tube est renforcé par un anneau épais R. Un cylindre de stéatite D, à travers lequel passe exactement le fil P, ferme le passage à l'acide. Par-dessus le tube M et le bouchon D, on a passé un tube de caout-

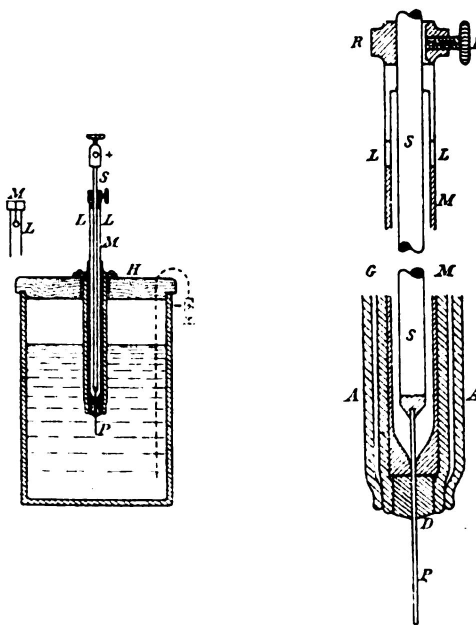


Fig. 1 et 2. — Interrupteur Wehnelt.

chouc à parois assez épaisses, un peu plus étroit que le bouchon et par-dessus le caoutchouc un tube de verre légèrement étiré vers le bas de manière à presser le caoutchouc sur le bouchon D.

En recouvrant de plomb le tube M et la tige S, on peut les laisser dans l'acide sans crainte d'attaque, quand l'interrupteur ne fonctionne pas. M. L.

Conductibilité acquise par les isolants solides sous l'action des rayons du radium,

par **A. Becker**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 124-144, août 1903.

L'isolant forme la lame d'un condensateur de faible capacité, disposée comme l'indique la figure 1.

Sur une lame de plomb de 0,9 cm d'épaisseur, percée d'une ouverture centrale est mastiqué un disque de cuivre *m*, épais de 0,3 cm, de diamètre un peu plus faible. Sur ce disque on met l'isolant, et par dessus une lame d'aluminium, épaisse de 0,02 cm, en évitant soigneusement

Digitized by Google

toute interposition de bulles d'air. Entre cette feuille d'aluminium et un tube de cuivre qui enveloppe tout le condensateur, on ne laisse qu'un intervalle isolant extrêmement étroit. L'aluminium est recouvert d'une feuille de plomb de 0,9 cm dans laquelle est pratiquée une ouverture qui reçoit la préparation de radium et peut être fermée par un couvercle de plomb.

La feuille de plomb inférieure et l'enveloppe de cuivre sont reliées au sol : le disque de cuivre, à l'électromètre et la feuille d'aluminium à une batterie.

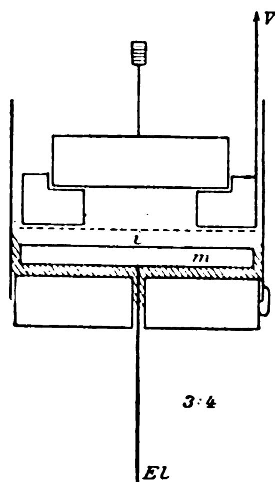


Fig. 1.

La préparation de radium était représentée par 150 mmg de sel radifère concentré de de Haën.

Le courant de charge qui se produit quand on met le condensateur en communication avec la source, a tout d'abord une intensité notable qui diminue progressivement jusqu'à une valeur très faible. La loi suivant laquelle varie cette intensité avec le temps de charge dépend essentiellement des états électriques antérieurs de l'isolant. On obtient toujours la même variation en mettant les armatures en communication avec la source pendant une heure et ensuite avec le sol pendant sept ou huit heures. Une fois ce régime atteint, on introduit la substance radio-active et on étudie la marche du courant.

A travers la gomme laque (épaisseur 0,15 cm) se produit un courant de faible intensité, mais assez constant. Avec la paraffine, la conductibilité provoquée par les rayons est si faible, qu'on ne peut obtenir de résultats certains par la méthode indiquée. Aussi on n'effectue les mesures qu'au bout d'un temps d'électrisation assez long, pour que le régime stationnaire de courant soit atteint. Le courant de conduction augmente suivant une fonction linéaire de la différence de potentiel, comme dans le cas de l'air.

La conductibilité a la même valeur à très peu près que l'armature supérieure du condensateur soit reliée au pôle + ou au pôle — de la batterie.

Elle n'atteint pas tout de suite une valeur constante quand on introduit la substance radio-active; mais elle croît peu à peu jusqu'à un maximum. De même elle ne devient pas brusquement nulle quand on enlève la substance. Il semble que le temps nécessaire pour que le maximum soit atteint est plus grand quand l'électrisation est positive.

Les expériences ne sont pas suffisantes pour déceler une influence de l'épaisseur de la couche isolante.

Le mica et l'ébonite sont plus difficiles à étudier à cause des phénomènes de charge résiduelle, il s'ensuit que le temps nécessaire à la saturation est beaucoup plus long.

Le mica devient 200 fois environ moins conducteur que la paraffine, mais suivant la même loi.

Etant donnée l'intensité très faible des courants observés, diverses causes d'erreur sont possibles. Par les précautions prises, l'influence de l'air ambiant rendu conducteur sur les conducteurs de liaison, a été éliminée; les expériences permettent d'ailleurs de le vérifier. Il ne se produit pas non plus de perte à l'extérieur par l'intermédiaire de cet air.

On pourrait encore objecter que le courant observé est dû aux charges négatives qu'emportent avec eux les rayons du radium. Or en supprimant la source et mettant les deux armatures au sol, on n'observe aucun passage d'électricité à travers l'isolant.

En augmentant la surface de la substance radio-active, et mettant la feuille d'aluminium en communication avec le sol, on constate un faible courant d'électricité négative de l'aluminium vers le cuivre, à travers la paraffine. En renversant le signe de la charge, on obtient un courant d'électricité positive.

Cette conductibilité est produite par les rayons les moins absorbables, car l'effet est encore notable quand la matière active est séparée de

Digitized by Google

l'isolant par une lame mince de verre ou d'aluminium.

Puisque le courant de conduction transporte plus d'électricité que les rayons du radium, il faut admettre qu'en traversant l'isolant, les particules électriques lancées par ce radium produisent des noyaux négatifs et positifs dont la charge est plus grande que la leur. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 octobre 1903 (1).

Conditions qui déterminent le signe et la grandeur de l'électrisation par contact, par **Jean Perrin.** *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 513-514 (2).

« Pour étudier le signe et la grandeur de la charge que prend un solide par contact avec un liquide, j'ai continué à observer le mouvement que la charge égale et contraire imprime à ce liquide sous l'action d'un champ électrique (osmose électrique).

» J'ai déjà signalé que des traces de certains électrolytes suffisent à déterminer le phénomène. Par exemple, tous les acides monobasiques, même très dilués, chargent d'électricité positive la surface des paillettes de chlorure de chrome. Plus brièvement, l'ion H^+ charge positivement cette paroi ; l'ion négatif OH^- des bases la charge au contraire négativement. Les autres ions monovalents agissent beaucoup moins, s'ils agissent (3).

» Le rôle des ions polyvalents me paraît remarquable, en lui-même, et par ses conséquences.

» Ils ne chargent pas non plus très notablement les parois. Si, par exemple, à une solution très faiblement acide on ajoute du nitrate de cadmium ou du chlorure de magnésium, la charge positive de la paroi ne varie pas sensiblement. De même, si l'on ajoute à une solution faiblement alcaline du sulfate ou du ferricyanure de potassium, la charge négative de la paroi ne varie pas sensiblement.

» Mais, en de tels cas, l'ion polyvalent ajouté avait même signe que l'ion actif H^+ ou OH^- déjà prédominant. Si, au contraire, on ajoute à une solution maintenue alcaline un ion polyvalent positif, la charge négative de la paroi décroît beaucoup.

» De même, l'addition d'un ion polyvalent négatif diminue toujours beaucoup, en solution maintenue acide, la charge positive de la paroi.

» Pour un même ion polyvalent, cette action *paralysante* croît avec la teneur : une paroi qui prend une charge 100 dans une solution millinormale en H^+ prendra une charge 25 si cette même solution devient millinormale en sulfate, une charge 5 si elle devient centinormale en sulfate.

» Pour une même concentration, l'action paralysante croît beaucoup avec la valence. Dans les conditions où l'ion SO^4 abaisse au quart de sa valeur la charge positive d'une paroi, l'ion $FeCy^6$ des ferricyanures l'abaisse au trentième, et l'ion $FeCy^6$ des ferrocyanures ne laisse plus subsister de charge mesurable.

» J'ai étudié :

» Les ions positifs divalents : Mg, Ca, Ba, Co, Mn, Cd ;

» Les ions négatifs divalents : SO^4, CO^3, C^2O^4 ;

» Les ions négatifs trivalents : PO^4, $Fe\,Cy^6$, $C^6O^7H^5$ des citrates ;

» Les ions négatifs tétravalents : $Fe\,Cy^6$ des ferrocyanures.

» Le corps chargé par contact a été le plus souvent la variété insoluble de chlorure de chrome, mais le silex, l'or mussif, le sulfure de zinc, l'alumine calcinée, m'ont également fourni des résultats. Je donnerai ailleurs le détail des déterminations. Dès à présent, je remercie M. Baudouin qui a bien voulu m'aider au cours de ce travail.

» En résumé, et réservant ici toute théorie :

(1) Aucune communication électrique n'a été faite à la séance du 28 septembre 1903.

(2) Voir les deux notes antérieures de l'auteur sur le même sujet, *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 74 et 106, 11 et 18 juillet 1903.

(3) La charge positive causée par Ag^+ et Tl^+ sur le chlorure de chrome résulte du fait que la solution devient alors faiblement acide.

Digitized by Google

» *a*. L'osmose électrique donne un moyen facile d'étudier la charge de contact entre un solide quelconque et un liquide.

» *b*. Cette charge est en moyenne beaucoup plus grande, quand le corps est un bon ionisant, tel que l'eau. Elle est due à des ions présents dans le liquide.

» *c*. Les seuls ions directement très actifs, dans l'eau, sont les ions H^+ et OH^-. Chacun d'eux charge la paroi de son signe. Quand leurs actions sont comparables à concentration égale, la paroi n'a pas de charge dans l'eau pure, et la sensibilité du phénomène pour un léger excès d'acide ou de base atteint ou dépasse celle du tournesol. Sinon, le point de neutralité est déplacé, comme il arrive avec certains indicateurs colorés.

» *d*. Tout ion polyvalent positif diminue l'action des ions $OH-$ présents, et tout ion polyvalent négatif celle des ions H^+. Cette action *paralysante* grandit avec la concentration, et surtout avec la valence.

» Je crois important de rappeler :

» *b'*. Que les colloïdes en *solution* dans l'eau sont probablement formés de *granules* chargés électriquement (Picton et Linder).

» *c'*. Que le signe de cette charge est parfois extrêmement sensible au plus léger excès d'acide ou de base (Hardy).

» *d'*. Que les colloïdes sont *coagulés* par addition d'électrolytes ; que cette action *coagulante* devient très grande quand l'électrolyte ajouté contient un ion polyvalent de signe opposé à celui du colloïde, et d'autant plus grande que la valeur de cet ion est plus élevée (Schulze, puis Hardy).

» Le parallélisme est évident ; j'espère montrer qu'il en résulte différents progrès dans la théorie physico-chimique des colloïdes et par conséquent de la matière vivante. »

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (1).

Production du fer et de l'acier au four électrique, par le **Dr H. Goldschmidt**, d'Essen. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 647, 6 août 1903.

Le tableau suivant donne, d'après l'auteur, la comparaison des différents procédés employés jusqu'ici pour la préparation de l'acier par voie électrique.

Comparaison des procédés pour la fabrication de l'acier par voie électrique.

PROCÉDÉ DE	ANNÉE	TYPE DE FOUR	MATIÈRE TRAVAILLÉE	CONSOMMATION d'énergie par tonne d'acier chevaux-heure.	COUT PAR TONNE d'acier, en francs.
Gin Leleux	1897	Four avec électrodes de charbon.	Fonte et déchets de tôle.	—	—
Stassano	1898	Four de 500 chevaux, avec électrodes de charbon.	Minerais de fer italiens très riches.	3 800-4 000	93,7
Gysinge (acier au creuset)	1900	Four de 225 chevaux, sans électrodes de charbon.	Fontes et fers forgés.	1 320	215
Froges-Héroult	1901	Four de 400 chevaux, avec électrodes de charbon.	Fontes et déchets de tôle.	1 200	—
Keller	1901	Four de 1 200 chevaux, avec électrodes de charbon.	Minerais de fers et fontes.	3 800	90-100
Harmet	1901	Four avec électrodes de charbon.	Minerais de fer.	3 600	30 (pas le prix total)
Schneider	1901	Four sans électrodes de charbon.	—	—	—
Ruthenburg	1901	Four avec électrodes de charbon.	Minerais de fer.	—	—
Conley	1902	Four avec électrodes de charbon.	Minerais de fer.	1 000	60
			Fontes et déchets de tôle.	1 042	142,5

Les années indiquées ici se rapportent aux dates des publications ou des brevets.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 390, 5 septembre 1903, et t. XXXVII, p. 37 et 110, 3 et 17 octobre 1903.

Digitized by Google

Procédé Stassano. — L'auteur décrit particulièrement d'abord le procédé Stassano qu'il a eu l'occasion de suivre de près. Stassano utilise des minerais de fer très purs, encore peu exploités. Ces minerais se trouvent dans la Haute-Italie, région des chutes d'eau qui donnent l'énergie à volonté.

Si on compare l'effet utile de la houille à celui du courant électrique dans les procédés métallurgiques, on trouve que ce dernier peut être plus économique, sans parler des autres avantages, dans les endroits où la houille est chère. Le tableau suivant permet de comparer les deux procédés.

1 kg de houille correspond à	7 500	calories
Avec 20 p. 100 d'utilisation	1 500	»
1 cheval-heure correspond à $\frac{75.3600}{425} =$	635,3	»
Avec 80 p. 100 d'utilisation.	508,24	»

Il en résulte que 1 kg de houille correspond à 3 chevaux-heure. Le prix de revient du cheval-heure peut se calculer comme suit :

Prix d'installation d'un cheval électrique :		300 fr.
Prix de revient annuel	10 p. 100 d'intérêt et d'amortissement . .	30 fr.
	Entretien	10 »
	Total	40 fr.

Ce qui remet le prix de revient du cheval-heure à $\frac{40}{7\,000} = 0{,}0057$ fr.

La figure 1 représente le four Stassano de 500 chevaux employé à Darfo en 1901. L'arc à courant alternatif utilisé ici a une tension de 170 volts et une intensité de 2 000 ampères. En exploitation courante, cet arc a une longueur de près d'un mètre.

On fait un mélange de 100 kg de minerai, 23 kg de charbon et 12,5 kg de fondants. La composition de ces différentes substances est la suivante :

Minerai de fer.

Fe^2O^3	93,02	p. 100
MnO	0,619	»
SiO^2	3,79	»
S	0,058	»
Ph.	0,056	»
CaO, MgO	0,5	»
H^2O	1,72	»

Charbon.

C	90,42	p. 100
Cendres	3,88	»
H^2O	5,70	»

Fondants.

CaO	51,21	p. 100
MgO	3,11	»
Al^2O^3, Fe^2O^3	0,5	»
SiO^2	0,9	»
CO^2	43,43	»

A l'aide de ce mélange, on fait des briquettes, mais cela ne paraît pas indispensable. Pour

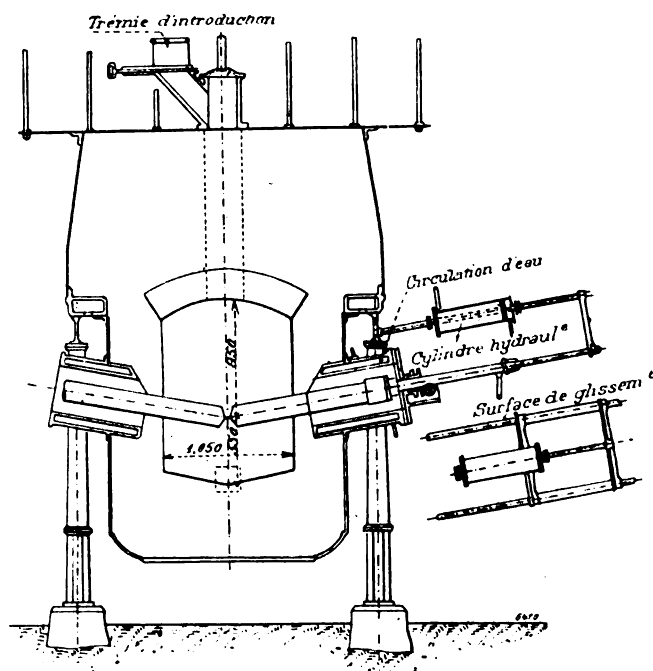


Fig. 1. — Four Stassano de 500 chevaux.

obtenir une scorie fusible renfermant toute la silice, Stassano cherche à obtenir la formule $SiO^2 + 4$ (base) pour cette scorie. Pour cela, il calcule les bases qui existent déjà dans le minerai de fer : magnésie, chaux, alumine, oxyde de manganèse et il ajoute ce qui manque, en carbonate de chaux. Le fer obtenu a la composition ci-dessous :

Fe	99,764	p. 100
Mn	0,092	»
Si	traces	
S	0,059	»
Ph	0,009	»
C	0,090	»

Digitized by Google

Le calcul théorique de la dépense d'énergie électrique se fait d'après les bases suivantes :

Décomposition d'une molécule-gramme Fe^2O^3	192	calories
Transformation de 1 kg d'eau à 100° en vapeur à 100°	637	»
Echauffement par degré de 1 kg de vapeur à 100°.	0,48	»
Calcination de 1 kg de fondant	425	»
Echauffement par degré d'une molécule-gramme CO^2	0,016	»
Echauffement par degré d'une molécule-gramme CO	0,0068	»
Fusion de 1 kg de fer	350	»
Fusion de 1 kg de scorie	600	»
1 kg C brûlant en CO produit	2 175	»

En rapportant ces chiffres à un mélange de 100 kg de minerai, 23 kg de charbon et 12,5 kg de charge ayant les compositions signalées ci-dessus, on trouve pour la consommation en chaleur les valeurs suivantes :

		Calories
Décomposition de l'oxyde de fer $\frac{93,02.192}{0,16}$	=	111 552
Vaporisation de l'eau du minerai et du charbon (1,72 + 1,21) 637.	=	1 866.41
Echauffement de la vapeur d'eau à 500° 2,93.0,48.400.	=	562.56
Calcination du fondant 12,5.425	=	5 312,5
Echauf. de CO^2 à 500° $\frac{5,429.0,016.500}{0,044}$.	=	987.09
Echauffement du CO produit à 500° $\frac{20,9.0,0068.500}{0,012}$	=	5 921,637
Fusion du fer obtenu 65.350.	=	22 775,2
» de la scorie 13,89.600	=	8 334,0
Total.		157 311.427

D'autre part, la combustion de C en CO produit 20,9.2175 = 45 457,5 calories. Il reste donc à fournir 157 311,427 — 45 457,5 = 111 853,927 calories qui correspondent à $\frac{111\,853,927}{635,3.0,8}$ = 219,08 chevaux-heure, d'après ce que nous avons vu précédemment.

Comme il est produit pour 100 kg de minerai, 65,114 kg de fer, la consommation d'énergie par kilogramme de fer est donc égale à $\frac{219,08}{65,114}$ = 3,364 chevaux-heure.

A 0,0057 fr le cheval-heure, la dépense d'énergie électrique est de 10,17 fr par tonne de fer.

L'auteur donne des détails sur la conduite d'une opération faite avec un four Stassano de 100 chevaux employé à Darfo en 1901. La charge était de 70,25 kg ; on obtenait 30,8 kg de fer. Le tableau suivant indique les quantités introduites et restantes dans le métal obtenu, des différentes substances.

Corps	Introduit	Obtenu
Fe	32 557,28 gr	30 727,312 gr
Mn	239,745 »	28,336 »
Si	910,448 »	traces
S	29,000 »	15,172 »
Ph	28,000 »	2,772 »

A 8 h. 15 on commençait à charger et on envoyait le courant. A 9 h. 15, la charge était terminée, et à 10 h. 15, on coulait. Après 20 minutes de marche, les constantes du courant électrique étaient 80 volts et 800 ampères ; 20 minutes plus tard, on atteignait 100 volts et 1 000 ampères ; 30 minutes après, 70 volts et 600 ampères. Après 30 autres minutes, on baissait à 50 volts et 500 ampères. Enfin, pendant les 20 dernières minutes, on maintenait 100 volts et 1 000 ampères. La consommation totale d'énergie atteignait 7 290 000 volts-ampères-minute, ce qui avec un $\cos \varphi = 0,8$ correspond à $\frac{7\,290\,000.0,8}{60}$ = 97 200 watts-heure ou encore à $\frac{97\,200}{735}$ = 132,24 chevaux-heure.

Le tableau suivant rend compte des actions thermiques :

		Calories
Réduction du fer contenu dans le produit final $\frac{30\,727,312.192}{112}$	=	52 730,262
Réduction du manganèse contenu dans le produit final $\frac{28,336.94,6}{55}$	=	48.719
Fusion du métal 30,8.350.	=	10 780,000
« de la scorie 6,3.600.	=	3 780.000
Transformation de l'eau en vapeur à 100° C. 1,316.637	=	838.292
Cuisson de la chaux 6,25.475.	=	2 968,750
Echauffement de la vapeur d'eau à 500°C. 1,316.400.0,48.	=	252,672
Echauffement de CO^2 à 500°C. 2,714.500.0,016 : 0,044.	=	493.554
Echauffement des carbures d'hydrogène à 500°C. 2,43.500.0,27	=	328.050
Echauffement du CO résultant de la réduction de Fe et Mn $\left(3.\frac{30\,727,312}{112}+\frac{28,336}{55}\right)$ 500.0,0068	=	2 800.131
Total.		75 020.330

Comme la combustion en CO du C introduit

dégage pendant la réduction 9,883.2175 = 21 495,525 calories, il reste à fournir théoriquement 53 524,805 calories.

La chaleur réellement consommée étant égale à 132,24.635,3 = 84 012,072 calories, le rendement thermique atteint

$$\frac{53\,524,805}{84\,012,092} = 0.6133$$

Stassano calcule de la façon suivante le coût pour 1000 kg de fer. Il suppose une installation de 5000 chevaux, produisant 30 tonnes d'acier en 24 heures, avec un rendement thermique égal à 0,6666.

1 600 kg de minerai à 15 fr la tonne	24 fr
Pulvérisation de ce minerai, 3 fr la tonne	4,80 »
200 kg de fondant à 5 fr la tonne	1,00 »
250 kg de coke à 45 fr la tonne	11,25 »
Pulvérisation de celui-ci, 2 fr la tonne	0,50 »
190 kg de charbon gras (pour agglomérer) à 70 fr la tonne	13,30 »
Fabrication du mélange, 3 fr la tonne	6,75 »
Usure des électrodes, 12 kg à 0,30 fr le kg	3,60 »
Entretien du four	12,00 »
Main d'œuvre	6,00 »
Ustensiles	3,00 »
Energie électrique 4 000 chevaux-heure à 0,0057 fr le cheval-heure	22,80 »
Frais généraux	3,00 »
Total	112,00 fr

Déduction faite des 900 m³ de gaz obtenu, soit 18,000 fr à raison de 0,02 fr le mètre cube, il reste une dépense totale de 94 fr par tonne de fer.

Voici d'autre part la composition des différents fers et aciers obtenus avec les fours Stassano.

C = 0,04 p. 100 — Mn = 0,05 »
C = 0,04 p. 100 — Mn = 0,12 »

C = 0,17 p. 100 — Mn = 0,07 » — Si = traces — Ph = 0,029 » — S = 0,05 »
C = 0,09 p. 100 — Mn = 0,18 » — Si = traces
C = 0,77 p. 100 — Mn = 0,65 » — S = 0,04 »

Acier au chrome C = 1,51 p. 100 — Mn = 0,26 » — Cr = 1,22 »

Stassano emploie de préférence le minerai ; cependant il traite aussi, pour la fabrication de l'acier, les fers bruts et les déchets de tôle. Les charges sont alors variables ; elles correspondent à celles employées dans les fours Martin. La consommation d'énergie est évidemment beaucoup plus faible dans ce cas.

Les fours Stassano donnent un fer analogue à celui du four Martin. Pour obtenir la qualité de l'acier coulé au creuset, le procédé aurait besoin d'un perfectionnement qui paraît très réalisable.

Procédé Conley. — Voici quels seraient, d'après les publications, les prix de revient par ce procédé.

En supposant une production journalière de 100 tonnes d'acier obtenu directement et partant du minerai, les dépenses pour ces 100 tonnes seraient les suivantes :

Energie électrique	1 250 fr
30 tonnes de coke à 10 fr la tonne	300 »
200 tonnes de minerai à 65 p. 100 (17,5 fr la tonne)	3 500 »
Réparations et entretien	250 »
Main-d'œuvre	625 »
Total	5 925 fr

soit 59,25 fr par tonne d'acier

En partant des fers bruts et des rognures de fer, on aurait pour une production de 24 tonnes d'acier par jour :

Energie électrique	312,50 fr
12 tonnes de déchets de fer à 140 fr la tonne	1 680,00 »
12 tonnes de pièces de fonte à 80 fr la tonne	960,00 »
Réparations et entretien	125,00 »
Main d'œuvre	325,00 »
Total	3 402,50 »

soit 141,77 fr la tonne d'acier.

Ce procédé doit être employé aux Etats-Unis.

Procédé Keller. — Dans le cas où on traite le minerai, l'opération comprend ici deux phases. Deux fours sont disposés l'un au-dessus de l'autre ; le four supérieur est un four à résistance dans lequel les électrodes en charbon sont en contact direct avec la matière ; dans ce four s'opère la fusion du fer brut. Le four inférieur a pour mission de raffiner ce fer, en ajoutant ou non du minerai, des déchets de fer et du fondant. Dans ce deuxième four, les électrodes ne sont pas en contact direct avec le métal à raffiner. Ce four est représenté en figure 2. Une ou plusieurs paires d'électrodes sont placées au-dessus du laitier. Le courant passe par la couche de scories et le métal. L'échauffement a lieu naturellement uniquement par le rayonnement de l'arc, car le courant qui traverse la charge ne produit qu'un échauffement très faible. Les dépenses s'établissent ici comme avec

Digitized by Google

le four Stassano et elles sont sensiblement égales.

Les chiffres donnés se rapportent au cas où on dispose de chutes d'eau et où le minerai de fer est bon marché. En Allemagne, où le minerai coûte le double, en employant pour la production de l'énergie de grosses machines à gaz, le prix de revient s'élève de 187 à 212 fr par

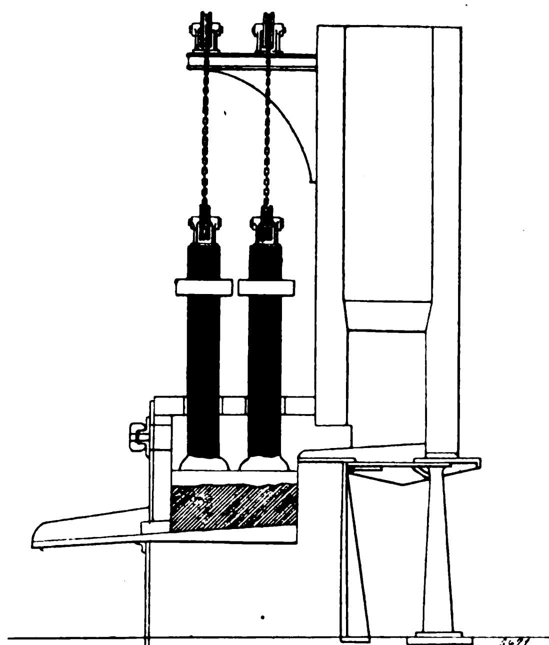


Fig. 2. — Four à raffiner de Keller.

tonne. Aussi travaille-t-on avec le four Martin qui est beaucoup plus économique.

Cependant, malgré ce prix élevé, le procédé électrique trouve son emploi dans tous les cas où on est obligé d'avoir recours actuellement à l'acier au creuset. Le prix de revient de celui-ci atteint en effet 375 fr par tonne. On sait que dans ce dernier cas l'usure des creusets, les réparations des fours et le combustible augmentent considérablement le prix de revient.

Procédé Héroult. — Dans les fours Héroult, d'une contenance de 3 tonnes, l'arc à courant alternatif absorbe 60 volts et 4000 ampères. On fait plusieurs charges dans une journée. Ici, les frais de réparations de four sont très faibles, ce qui est à considérer. D'après Héroult, la composition de l'acier raffiné obtenu serait la suivante :

S = 0,007 p. 100
Ph = 0,003 »
Mn = 0,15 »
Si = 0,003 »
C = 0,60 — 1,80 p. 100

Ce procédé va maintenant être utilisé en employant comme source d'énergie les moteurs à gaz. Un four est en construction en Suède entre les stations Granbergsdal et Kortfors.

Procédé Kjellin. — Ce procédé ingénieux permet également d'obtenir un acier au creuset de la meilleure qualité. Le four représenté en figure 3 forme un transformateur dans lequel l'acier fondu constitue le circuit à basse tension et à haute intensité, pendant qu'un enroulement primaire reçoit le courant à haute tension. On évite ainsi complètement l'emploi des électrodes. On introduit dans le four de la fonte pure au charbon de bois (25 p. 100 environ) et

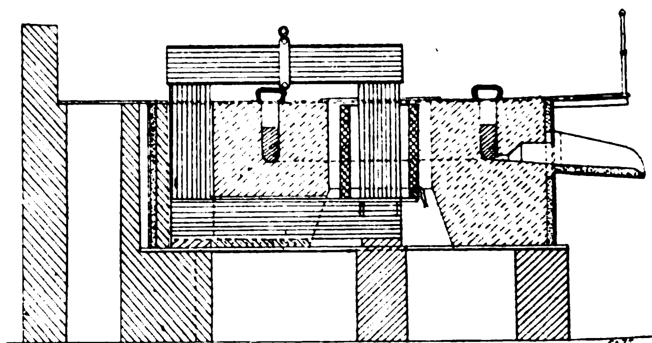


Fig. 3. — Four Kjellin, de Gysinge, 1903.

du fer forgé. Le tableau suivant donne le détail du prix de revient d'une tonne d'acier, de la qualité acier au creuset, obtenu à Gysinge avec un four Kjellin de 225 chevaux, produisant 4100 kg d'acier en 24 heures et consommant 1320 chevaux-heure par tonne d'acier.

Énergie (moteur à gaz donnant le cheval-heure à 0,01875 fr)	25 fr
Matière introduite (fonte pure au charbon de bois et fer forgé)	162,5 »
Moule	1,25 »
Réparations et réfections des murs	10,37 »
Amortissement et intérêts	2,81 »
Main d'œuvre	12,50 »
Total (sans frais généraux, licences, etc.)	214,44 fr

Le prix de revient d'un four avec sa disposition électrique, mais sans la source d'énergie, atteint 187 500 fr. Le tableau suivant indique la composition de quelques échantillons d'acier fabriqués à Gysinge.

Digitized by Google

	Echantillon I	Echantillon II	Echantillon III
Carbone. .	1,45 p. 100	1,20 p. 100	0,95 p. 100
Silicium . .	0,47 »	0,74 »	0,35 »
Manganèse.	0,49 »	0,46 »	0,33 »
Phosphore.	0,011 »	0,013 »	0,014 »
Soufre. . .	0,010 »	0,010 »	0,015 »

Discussion. — G. Gin fait remarquer qu'on rencontre de grandes difficultés à employer le courant électrique dans un bain dont la résistance atteint à peine 100 microhms par centimètre. On se contente en général de produire la chaleur Joule dans une couche liquide recouvrant le bain de métal et dont la résistance est beaucoup plus élevée que celle du métal. D'autre part, les électrodes de charbon forment un obstacle à la décarburation. On a bien imaginé des fours à induction, mais ceux-ci ont un mauvais rendement par suite des pertes magnétiques qui sont très élevées.

Pour éviter ces troubles, c'est-à-dire se passer de l'utilisation de la scorie et employer les électrodes de charbon, G. Gin donne à son four électrique la forme d'un canal de grande longueur et de faible section. Le bain liquide est terminé aux deux côtés par deux blocs d'acier de grande section et dont la solidification est obtenue par circulation d'eau.

Le passage d'un courant d'intensité déterminée à travers le métal formant conducteur produit une chaleur suffisante pour maintenir la masse en fusion et lui donner la température nécessaire aux réactions d'affinage.

Sur une question de V. Engelhardt, le Dr Goldschmidt répond que le prix de 214 fr par tonne pour l'acier de Gysinge, se rapporte à l'introduction des matières à froid.

Au sujet des dépenses de réparations des fours, V. Engelhardt fait remarquer que celles-ci sont relativement plus petites dans le cas des fours de petites dimensions, ce qui est le cas du four de Gysinge dont la puissance n'atteint que 165 kilowatts tandis que les fours des autres types atteignent jusqu'à 736 kilowatts.

L. JUMAU.

Sur la préparation du bisulfure de carbone au four électrique, par **E.-R. Taylor,** de Penn Yan. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 679, 20 août 1903.

L'auteur dit quelques mots sur la disposition employée : le réglage des charbons du four est fait automatiquement et régulièrement, ce qui augmente la durée des charbons qui sont coûteux.

BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE

CONGRÈS DE SOUTHPORT.

Septembre 1903.

Le Congrès annuel de l'Association britannique pour l'avancement des sciences s'est tenu cette année à Southport. Comme à l'ordinaire les communications présentées à ce Congrès ont été des plus nombreuses et des plus importantes. La section du Génie civil et la section de Mathématiques et de Physique, qui nous intéressent particulièrement, en ont eu leur bonne part. Nous commencerons par le discours d'inauguration du président de cette dernière section.

Les corps radio-actifs et la queue des comètes, par **C. Vernon Boys.**

Après avoir rappelé les noms et les travaux des membres de la section décédés au cours de l'année (Lord Salisbury, Sir George Gabriel Stokes, Gladstone, Sir Roberts-Austen, James Wimshurst, James Glaisher, Willard Gibbs, Bjerknes, Dufour, Luigi Cremona, etc.), l'orateur s'étend sur la belle découverte du radium par M. et Mme Curie, sur les nombreux travaux faits récemment sur cette curieuse substance, expose ensuite une explication personnelle de la queue des comètes dans laquelle les résultats de ces travaux sont mis à contribution et termine par des considérations sur l'insuffisance de l'enseignement scientifique dans les écoles anglaises. Bien que ces sujets ne soient pas d'ordre purement électrique, ils touchent de si près à l'électricité que nous croyons devoir reproduire les passages du discours qui s'y rapportent (1).

I. CORPS RADIO-ACTIFS. — « Des événements de l'année passée, il en est un remarquable entre tous, non seulement pour son importance intrinsèque et le caractère absolument révolutionnaire des conséquences qu'il comporte, mais aussi par l'intérêt qu'il a excité dans le public en général. La découverte, par M. et Mme Curie, de ce qui semble être la production indéfinie de la chaleur en quantité facilement mensurable, par une parcelle extrêmement ténue d'un composé

(1) Ce discours a été publié in extenso par la plupart des journaux scientifiques et techniques anglais (voir *Electrician*, t. LI. p. 862, 11 septembre 1903. Une traduction littérale en a été donnée par la *Revue Scientifique* du 18 octobre, 4e série, t. XX, p. 449-459.

Digitized by Google

de radium, cette découverte, dis-je, est si stupéfiante que, même à cette heure ou un grand nombre d'entre nous a pu voir de ses propres yeux monter sous l'influence de cette chaleur la colonne thermométrique, nous pouvons à peine en croire le témoignage de nos sens. Cette découverte, à peine différente de celle du mouvement perpétuel qu'il est axiome scientifique de considérer comme impossible, a plongé tous les chimistes et tous les physiciens dans la plus profonde stupéfaction. Là-dessus sir William Crookes est venu imaginer une expérience qui caractérise pleinement son auteur, si j'ose ainsi dire, d'après laquelle une parcelle de radium produit sur un écran un bombardement qui doit, semble-t-il, durer éternellement, les collisions produisant des lueurs microscopiques qui dansent, se multiplient, et forcent l'imagination à marcher sur les pas du raisonnement, et à se figurer clairement l'existence du tumulte atomique. Grâce au labeur et au talent de J.-J. Thomson, Rutherford, et Soddy, sir William Huggins et Lady Huggins, Dewar et Ramsay et de bien d'autres encore dans ce pays, outre M. et Mme Curie et une foule d'autres savants étrangers, le mystère est battu en brèche, et l'on est en train d'inventer des théories pour expliquer les résultats merveilleux de l'observation; mais, ces théories mêmes auraient, il y a quelques années, semblé plus merveilleuses et plus incroyables que les faits ne nous paraissent aujourd'hui. Un atome de radium peut produire d'une façon constante une émanation qui est quelque chose comme un gaz, et s'échappe portant en elle les propriétés les plus étonnantes ; mais l'atome, la chose qui ne peut plus être divisée, subsiste et conserve son poids. L'émanation est véritablement merveilleuse; elle est lumineuse par elle-même, se condense sous l'influence d'un froid extrême et se vaporise de nouveau; on peut la voir suinter à travers les robinets d'arrêt, courir à travers les tubes, mais sa quantité est si minime qu'on n'a pu encore la peser. Sir William Ramsay lui a infligé des traitements chimiques d'une telle cruauté que l'élément le plus réfractaire ou le plus constant qu'on connaisse en aurait été annihilé ; l'émanation sort de l'épreuve sans rien perdre de son éclat ni de son volume.

» Non content de fabriquer une substance si remarquable, l'atome de radium émet trois espèces de rayons; l'une d'elles, ressemblant beaucoup aux rayons Rœntgen, mais en différant complètement au point de vue de la puissance d'ionisation, si l'on en croit les expériences de Strutt. Ces trois espèces de rayons consistent toutes en particules que l'atome projette, mais elles ont chacune une puissance de pénétration différente; l'aimant et l'électricité ne les font pas dévier de la même façon; la quantité d'électricité qu'elles contiennent par rapport à leur poids n'est pas la même, et cependant l'atome, le même atome, reste identique et inaltérable. Ce n'est pas tout : le radium, ses émanations, ou ses rayons, doivent peu à peu créer d'autres corps différents du radium, et c'est de là, nous dit-on, qu'un au moins de ces nouveaux gaz, découverts à peine d'hier, tire son origine.

» Et de même que ces gaz n'ont aucune propriété chimique, le radium qui, jusqu'à un certain point, les produit, se comporte d'une façon différente de celle des autres produits chimiques. Il ne perd pas la propriété de produire de la chaleur même à la température encore plus basse de l'hydrogène liquide. M. Dewar a même constaté un accroissement dans son activité calorique.

» Différent des produits chimiques *ancien modèle* qui, aussitôt formés, jouissent de toutes leurs propriétés, le radium et ses sels demandent un mois pour acquérir leurs propriétés dans leur plénitude (c'est du moins ce que nous dit Dewar) et alors, ils se mettent à fabriquer des émanations caloriques, trois sortes de rayons, de l'électricité, des gaz, et cela durera l'éternité. L'éternité..... peut-être pas exactement, mais un laps de temps si considérable que la perte de poids en une année (d'après les calculs, je suppose, plutôt que d'après l'observation directe), est presque nulle. M. Rutherford croit que le thorium ou l'uranium, dont les actions sont analogues mais bien moins énergiques, dureraient un million d'années avant qu'il n'en restât plus rien, ou du moins avant d'être complètement usés ; tandis que le radium, « préférant mener la vie courte et bonne », ne pourrait espérer vivre plus de quelques milliers d'années.

» Pendant ce temps, un gramme de radium produirait un milliard d'unités de chaleur suffisantes, si elles étaient converties en énergie, pour élever 500 tonnes à une hauteur de 1 500 m ; tandis que 1 gramme d'hydrogène, brûlé

Digitized by Google

dans l'oxygène, ne donne que 34 000 unités de chaleur, soit la trente millième partie du rendement du radium. Je crois fermement qu'il n'y a dans ces chiffres aucune exagération, étant donné ce qu'on nous dit du radium et ce qui est prouvé expérimentalement à son sujet ; mais, même si la moitié seulement était vraie, ce ne serait pas le *mystère du radium* qu'il faudrait dire : le *miracle du radium* serait la seule expression qu'on pourrait proprement employer.

» Pour montrer combien l'activité de l'esprit et des recherches scientifiques, a été stimulée par l'activité même du radium, il me suffira de mentionner ce fait que le dernier numéro du bulletin de la *Royal Society*, est entièrement consacré au radium ; on y voit quatre mémoires, tous de première importance, traitant de phénomènes absolument différents les uns des autres.

» Je n'ai pas le dessein de vous en rendre compte, non plus que de ce qui se rapporte au radium en général ; un tel effort dépasserait complètement ma compétence. »

II. Explication de la queue des comètes. — « Mais je ne puis laisser passer cette occasion de vous parler d'un autre mystère, dont un exemple remarquable est en train de nous quitter. Je veux parler du mystère de la comète et de ses queues. Qu'est-ce qu'une comète ? De quoi sa queue est-elle faite ? L'astronomie basée sur la gravitation, nous a dit, il y a longtemps déjà, qu'en comparaison des planètes ou de leurs satellites, une comète ne pèse rien. Elle pèse des kilos, peut-être des centaines, des milliers, ou des millions de tonnes ; mais comparée à de modestes satellites, elle ne pèse rien. Il en est cependant qui, à mesure que, de leurs régions lointaines, elles se rapprochent du soleil, émettent des sortes de lueurs qui se déploient comme chassées par le soleil, contrairement à l'opinion la plus répandue qui font d'elles des traînées lumineuses que les comètes lancent derrière elles dans leur course. Ces lueurs, projetées vers le soleil, se recourbent en arrière, et se répandent avec une vitesse énorme, si on la compare à celle de la comète elle-même, produisant de cette façon la queue de la comète. Mais il arrive aussi, très souvent, que ces courants lumineux se séparent et produisent des comètes à deux ou trois queues. Permettez-moi à ce sujet de vous lire un paragraphe de l'*Histoire de l'Astronomie* de Miss Clerke :

« Olbers a montré que les proportions de la » courbure de la queue d'une comète dépen- » dent, dans tous les cas, de la proportion qui » existe entre la vitesse des particules ascen- » dantes et celle de la comète dans son orbite ; » plus la vitesse des particules est grande, plus » la queue est droite. Mais la vitesse des particu- » les ascendantes varie avec l'énergie de leur ré- « pulsion par le soleil, et il est probable que » cette énergie varie suivant la nature des parti- » cules ; aussi les queues multiples se développent- » elles quand la même comète projette au voi- » sinage de la périhélie des substances spécifi- » quement distinctes. Le rayon long et droit » que projetait la comète de 1807, par exemple, » était, sans aucun doute, composé de particu- » les sujettes à une répulsion solaire beaucoup » plus énergique que celles qui formaient une » queue plus courte et recourbée, s'étendant à » peu près dans la même direction. Dans la » comète de 1811, il calcula que les particules » projetées de la tête mettaient onze minutes » pour atteindre l'extrémité de la queue, indi- » quant par ce mouvement d'une vitesse énorme » (comparable à celle de la transmission de la » lumière), l'action d'une force beaucoup plus » puissante que celle de la gravitation, qui » s'exerçait en sens inverse. Il expliquait, » d'autre part, le phénomène assez fréquent des » enveloppes multiples, par les différences entre » les répulsions exercées par le noyau lui-même » sur les diverses espèces de matière qui en » émanent. »

» Il est impossible de n'être pas frappé par la ressemblance qui existe dans le phénomène décrit et même dans les termes employés, entre ce paragraphe et presque tous les mémoires qu'on peut lire sur le radium. Je sais que cette ressemblance ne signifie pas grand chose, si même elle a la moindre signification ; mais pendant des siècles, le ciel nous a montré un phénomène qu'on n'est pas encore parvenu à expliquer, et l'impossibilité où nous nous trouvons de surmonter cette difficulté à l'aide du radium ou d'une substance de même espèce, n'implique en aucune façon l'obligation de rejeter *a priori* toute connexion entre les deux phénomènes.

» La queue de la comète est encore un mystère. Permettez-moi de vous en exposer l'explication la plus récente qui a été proposée, il y a seulement trois mois, dans l'*Astro-Physical*

Digitized by Google

Journal publié aux Etats-Unis. Nichols et Hull, ces admirables expérimentateurs, font depuis quelques années des recherches sur la pression en arrière produite par la lumière sur les corps qu'elle vient frapper. En cela ils ont suivi le physicien russe Lebedew; mais, au point de vue de la précision, de la délicatesse de leurs mesures, ainsi que du succès avec lequel ils ont su éliminer toute influence perturbatrice, leurs résultats sont assurément incomparables. Qu'il me suffise de dire que, malgré la difficulté et la minutie de l'expérience, leur succès a été tel que l'écart entre la force telle qu'ils l'avaient calculée et la force telle qu'elle leur fut révélée expérimentalement, est inférieur à 1 p. 100. Il me sera peut-être permis d'exprimer quelque satisfaction de ce que, dans ces mesures, on ait fait usage de la fibre de quartz.

» Ayant dès lors la connaissance précise et définie de l'existence d'une force produite par l'action de la lumière, ou plutôt par la radiation, Nichols et Hull examinent la question de savoir jusqu'à quel point cette force répulsive peut l'emporter sur l'attraction solaire et chasser la substance qui s'échappe de la comète. Il n'est pas sans intérêt de remarquer, à ce propos, que cette même idée avait été mise en avant par Kepler, et que Newton, l'inventeur de la théorie moléculaire de la lumière, considérait cette hypothèse avec quelque faveur.

» J'arrive maintenant au mémoire récemment écrit par Nichols et Hull. Nous y trouvons d'abord une considération sur le rapport entre l'attraction et la gravitation, et la répulsion par la lumière sur des molécules de dimensions et de densités différentes. La densité n'a aucune influence sur l'action de la lumière, tandis qu'elle est favorable à la gravitation, et, par suite, défavorable à la formation de la queue de la comète. La dimension est favorable à l'action de la lumière et à la gravitation, mais plus à la gravitation qu'à la lumière, car si le diamètre d'une molécule est doublé, l'action de la gravitation devient huit fois plus grande, celle de la lumière quatre fois seulement. La grandeur d'une molécule favorise donc l'attraction par la gravitation. Il est évident, par contre, que sa petitesse favorise l'action répulsive de la lumière, qui devrait croître à mesure que diminueraient les dimensions des molécules. On arriverait enfin à un degré de petitesse tel, que la force répulsive de la lumière serait exactement égale à l'attraction due à la gravitation, et la molécule resterait dans l'espace, insensible à l'action de notre soleil. Supposons que la molécule continue à diminuer, et ce sera la force répulsive qui sera en excès; et, si la loi s'appliquait à l'infini, cette force, en admettant une diminution suffisante de la molécule, deviendrait relativement aussi grande qu'il nous plairait.

» La loi cependant ne s'applique pas à l'infini. Schwarzschild a montré que, lorsque les molécules atteignent un certain degré de petitesse, la lumière n'agit pas sur elles de la même façon. A cause de la diffraction, l'action de la lumière s'exagère lorsque les molécules atteignent un certain degré de petitesse, tandis qu'elle cesse presque entièrement de se faire sentir, lorsqu'elles deviennent beaucoup plus petites. C'est ainsi que l'accroissement indéfini de la force répulsive de la lumière, comparée à l'attraction due à la gravitation et proportionnel à la diminution des dimensions des molécules, cesse à un certain moment d'être exact; et, alors que, théoriquement, avec une molécule d'une densité particulière, la pression de la lumière vaut à peu près vingt fois l'attraction due à la gravitation, une plus grande diminution de la molécule cesse de favoriser l'action de la lumière, et cette action cesse à nouveau de se faire sentir. La distance qui sépare la molécule du soleil n'a aucune influence sur le rapport qui existe entre les deux sortes de forces, car elles augmentent et diminuent toutes deux en même temps. En conséquence, Nichols et Hull, sans nier pour cela que d'autres causes peuvent contribuer à la formation de ces phénomènes, estiment que la pression de la lumière suffit à les expliquer, et que, lorsque la substance qui vient de la tête de la comète proprement dite, est de deux ou trois espèces, par suite de la différence soit entre les dimensions, soit entre les densités des molécules, il doit nécessairement s'ensuivre une séparation en deux ou trois queues.

» Cette théorie présuppose que le noyau d'une comète pourra, par suite de l'évolution du gaz sous l'action de la chaleur solaire, émettre d'énormes quantités de poussière. Et plus cette poussière sera fine et légère, mieux cela vaudra, tant que sa finesse ne sera pas exagérée, par rapport à une longueur d'onde lumineuse. Cette poussière expliquerait la présence dans le spec-

Digitized by Google

troscope de toute la lumière solaire réfléchie; mais on ne voit pas très bien comment le spectre des hydrates de carbone, du sodium et des autres métaux pourrait se produire, étant donnée la température relativement basse. On ne voit pas très bien comment une poussière errante peut se séparer en queues parfaitement distinctes; on ne voit pas très bien comment cette poussière peut être produite en quantité suffisante pour illuminer d'une façon parfaitement visible des millions de millions de kilomètres cubes d'espace, à travers lesquels elle passe avec une rapidité ultra-planétaire; même si l'on considère que dans le cas d'une comète séparée de nous par une distance d'un ou deux millions de kilomètres, un grain de poussière par 150 kilomètres suffirait à produire la lumière en question.

» D'autres théories sur les queues des comètes ont pour postulat l'existence d'un soleil chargé d'électricité. Leur existence, dit Arrhénius, est due à l'émission par le soleil d'électrons négatifs qui, ramassant des gaz en train de se condenser, sont chassés par la force de la lumière. Arrhénius croit que ces électrons, agissant sur la substance qui compose la queue des comètes, produisent les spectres aux raies brillantes qu'on a souvent observés. Le résultat de tout cet échappement d'électricité négative est que le soleil est chargé d'électricité positive, mais il est aussi difficile de voir ce qui, dans le soleil, limite la charge d'électricité, que de comprendre pourquoi l'attraction électrostatique, aidée par la gravitation, ne finit pas par arrêter cette action. Il se peut qu'en faisant cette objection, je fasse étalage de mon ignorance, dont j'ai suffisamment conscience, mais il n'est, que je sache, aucune preuve de l'existence de ce courant de particules ou de gouttes électriques imaginé par Arrhénius.

» Nichols et Hull, en faisant appel aux recherches de Schwarzschild, pour avoir une force répulsive à peu près vingt fois supérieure à la force d'attraction, ne semblent pas avoir attaché assez d'importance aux limites extrêmement étroites dans lesquelles les dimensions des molécules permettent à cette force de s'exercer sur ce haut degré d'intensité. L'effet maximum d'une longueur d'onde, suivant Schwarzschild, se produit quand les dimensions de la molécule sont telles qu'une longueur d'onde peut juste en faire le tour; c'est-à-dire, avec la lumière ordinaire, quand le diamètre est entre deux millioniêmes et trois millioniêmes de millimètre. Si le diamètre est égal à deux fois et demie la longueur d'onde, l'action de la lumière est égale à celle de la gravitation avec une substance de même densité que l'eau; si, d'autre part, ce diamètre est réduit au huitième de la longueur d'onde, l'action de la lumière est de même égale à celle de la gravitation, et, dans les deux cas, la résultante est nulle. Avec des molécules de moindres ou de plus grandes dimensions, la gravitation l'emporte rapidement sur la lumière, tandis que la supériorité énorme de la lumière sur la gravitation est confinée dans des limites très étroites.

» Quel peut bien être le tamisage qui donne naissance à une telle quantité de poussières microscopiques? Et, en admettant que la substance qui compose la queue des comètes, soit nivelée par je ne sais quel procédé mystérieux, comment se fait-il que les ondes du spectre solaire qui, elles, ne sont pas nivelées, permettent la séparation marquée qu'on observe dans certains cas entre les queues des comètes? Ce sont là des questions qui, je le crains, doivent rester sans réponse.

» Il est cependant une chose que les auteurs du mémoire affirment, c'est que la pression de la lumière ne peut avoir aucune action sur un gaz, de sorte que, si la queue des comètes est composée d'une substance gazeuse, la théorie de la pression lumineuse doit être abandonnée pour quelque autre.

» Je ne puis cesser de rendre compte de cette excursion de Nichols et Hull dans un domaine purement spéculatif de la science, sans exprimer toute mon admiration pour les recherches expérimentales qu'ils ont faites, et ma haute appréciation de l'ingéniosité et de l'audace avec lesquelles ils ont entrepris cet exploit absolument nouveau : la fabrication d'une comète.

» Si la théorie dont je viens de parler est la plus récente, il ne s'ensuit pas qu'elle supplante absolument toutes celles qui l'ont précédée. Les auteurs même n'ont jamais eu cette prétention et c'est là la dernière des choses qui leur viendrait à l'idée. Ils ont eux-mêmes fait allusion aux recherches de Bredechin, qui tiennent une place si importante dans les Annales de l'Observatoire de Moscou.

Digitized by Google

» Il est impossible de lire même la dixième partie des comptes rendus de Bredechin sans s'apercevoir que les comètes et leurs queues sont un sujet dont, grâce à un labeur stupéfiant, il a fait sa propriété privée, et que, si par hasard un étranger tirait en passant un coup de fusil dans ses domaines, il s'exposerait aux châtiments qui sont, dans notre pays, réservés aux braconniers. Bredechin a été, de fait, impitoyable — je ne dis pas injuste — pour l'auteur de l'une au moins de ces théories proposées légèrement et à l'aventure.

» C'est donc avec la plus grande réserve et en faisant appel à toute votre indulgence que je me risque à faire quelques comparaisons et à hasarder quelques hypothèses qui, je suis tout prêt à l'admettre, n'atteignent pas un degré de précision accessible seulement à des comparaisons détaillées entre des comètes connues.

» Il me semble, à présent, impossible de considérer les phénomènes que nous présentent les comètes : leurs queues distinctes, leur ténuité et leur transparence, leur lumière pâle, qui provient à la fois de la réflexion de la lumière solaire, et, à ce qu'il semble aussi de gaz incandescents, la décroissance graduelle et la disparition de ces comètes qui viennent constamment visiter les régions solaires, on ne peut, dis-je, le faire sans retracer tous les traits qui les rapprochent des mystères du radium, lesquels attirent aujourd'hui l'attention de tout le monde savant. Par radium, bien entendu, j'entends toute substance douée des remarquables propriétés radio-actives que nous constatons dans le radium à un degré si élevé, qu'elle soit ou non connue dans les laboratoires.

» Combien de physiciens ont braqué sur les comètes des lunettes de radium, combien d'astronomes ont découvert l'étincelle du radium dans l'épaisse chevelure de leurs étoiles, je l'ignore absolument. Déjà, cependant, en juillet 1901, un écrivain, M. I. C. Chamberlin, jugeait digne de considération la possibilité d'un rapport entre les comètes et les substances radio-actives qui étaient alors connues. L'article de M. Chamberlin, paru dans *Astro Physical Journal*, avait surtout pour sujet l'éclatement périodique des corps animés du mouvement de gravitation et l'évolution possible des comètes, des nébuleuses et des météorites, et l'auteur n'a pas poussé cette comparaison jusque dans ses derniers détails. De fait, il ne pouvait encore disposer de l'énorme accumulation des propriétés du radium découvertes depuis lors.

» Quelle que soit l'hypothèse à laquelle on s'arrête touchant la constitution dés comètes, il reste encore de nombreuses difficultés à résoudre. Tout ce que je voudrais pour l'instant, c'est qu'on ne perdit pas de vue en étudiant ces difficultés, les curieuses propriétés du radium et les corps analogues. C'est du moins, par le radium que nous pouvons expliquer comment, son activité venant à être réveillée par la chaleur croissante du soleil ou par sa force attractive, les rayons α de Rutherford jaillissent avec une vitesse qui, d'après ses calculs, serait égale à 254 millions de mètres par seconde, soit douze fois moindre que la vitesse de la lumière. Ces rayons α, suivant Rutherford, se composent d'hélium ; ils pèsent chacun deux fois plus que l'atome d'hydrogène et ainsi le même poids de substance, composant une comète qui constituerait une des plus parfaites molécules de Nichols et Hull (c'est-à-dire une molécule qui serait à peine visible au microscope), serait suffisant pour environ 400 millions de molécules des rayons α de Rutherford; évidemment ceci constitue un avantage dans un cas où la diffusion semble si miraculeuse.

» Ces molécules qui jaillisent à une vitesse douze fois moindre que celle de la lumière, vont cependant si vite que, si elles partaient horizontalement de la surface du globe terrestre, l'attraction de la terre ne les ferait dévier dans leur course que d'une quantité infinitésimale, leur faisant seulement décrire une courbe de 64 300 millions de kilomètres de rayon. Et cependant la charge électrique qu'elles entraînent est si forte qu'on peut leur faire décrire une courbe visible dans un champ électrostatique.

» Imaginez maintenant ces rayons transportés dans l'espace à une distance du soleil égale, par exemple, à celle de Vénus. La gravitation provenant du soleil est sur cette planète le millième de ce qu'elle est ici ; la gravitation serait donc à cette distance moins capable, dans la même proportion, de faire dévier la course de ces rayons suivant une courbe visible. Mais leurs charges électriques conservent leur pleine puissance, et, sauf une erreur considérable dans mes calculs, il ne serait nullement besoin d'une très forte électrisation du soleil pour faire décrire à

Digitized by Google

ces rayons une courbe de 15 000 km de rayon. Un champ électrostatique inférieur à deux dix-millièmes d'unité pourrait suffire, et ce champ serait réalisé si la charge superficielle du soleil était égale à une unité électrostatique tous les trois centimètres carrés.

» Il importe peu que ces chiffres soient exacts ou non, et je sais fort bien que je cours risque d'arriver à un résultat de trente milliards trop élevé ou trop bas. Un soleil chargé d'électricité — hypothèse, que, après tout, d'autres qu'Arrhénius ont soutenue — suffirait à faire dévier les rayons et à les faire s'éloigner avec une vitesse rapidement croissante, de façon à former la queue de la comète. Leur vitesse ne tarderait pas à atteindre celle de la lumière, n'étaient les changements qui surviennent dans les propriétés de la matière, quand on approche de vitesses si considérables. De cette façon, suivant le rapport de la charge électrique à la masse, des molécules telles que les rayons α de Rutherford seraient projetés chacun avec sa vitesse propre, donnant naissance à des traits de lumière plus ou moins définis, et doubles, triples ou multiples, suivant le nombre des espèces de rayons que les différentes substances radio-actives seraient capables de produire.

» Et ce ne serait pas seulement des traînées de lumière s'élançant dans une direction opposée au soleil qui seraient ainsi formées, mais tous les rayons chargés d'électricité négative, comme le radium, dit-on, peut en émettre, formeraient une queue dirigée vers le soleil. Peut-être pourrait-on s'attendre à ce que le fait fût général, tandis qu'il n'est qu'exceptionnel. Il a été cependant observé et décrit par Hind dans la comète de 1823-24, et on l'a remarqué dans trois ou quatre autres.

» La tête de la comète serait l'enveloppe de toutes les orbites indépendantes, s'éloignant du noyau dans toutes les directions — orbites dont les vitesses seraient du genre de celles des rayons Rutherford, mais seraient des hyperboles convexes par rapport au soleil.

» Et si cette hypothèse ne paraissait pas absolument absurde, il me semble qu'une autre difficulté serait plus près d'être résolue qu'elle ne l'a été jusqu'à présent. Je veux parler de la visibilité, de la luminosité et du caractère spectral des comètes.

» M. Lodge, interprétant Larmor, nous dit que d'un ion électrisé et soumis à une accélération transversale, ou suivant la ligne de son mouvement, irradie de l'énergie. Les flots de molécules qui s'échappent du noyau soumis à la plus grande accélération, peuvent être presque aussi brillants que le noyau lui-même ; puis, à mesure qu'ils se dispersent dans des régions où ils deviennent susceptibles d'une accélération bien moindre, la radiation diminue, et la queue se perd dans l'espace.

» Les observations faites le mois dernier par sir William Huggins et lady Huggins sur le spectre donné par un morceau de radium dans l'air, peuvent avoir quelques portées pour ce qui a trait au caractère lumineux des comètes. Il peut se faire que les mouvements produits intérieurement par ses différentes parties, suivant chacune une orbite spéciale, produisent des collisions assez nombreuses et assez violentes pour expliquer toute la lumière perceptible, et pour causer une élévation de température suffisant à produire les raies spectrales qui ont été identifiées. Que cette hypothèse soit vraie ou non, les corps radio-actifs et leurs émanations peuvent produire de la lumière, indépendamment d'une action de ce genre ; et il se trouve maintenant que ces expérimentateurs ont découvert ce fait que, dans le cas du radium plongé dans l'air, cette lumière donne, raie par raie, le spectre de l'azote. Est-il possible que l'azote qui nous enveloppe ait eu ses atomes malmenés par l'activité du radium, au point de donner une réaction que, seule, jusqu'à présent, pouvait provoquer une décharge électrique ? La possibilité d'obtenir une telle réaction nous ouvre celle d'une nouvelle interprétation de ces spectres, que, jusqu'alors, ayant seulement pour guide notre expérience du laboratoire, nous avons supposé ne pouvoir être produits qu'à une haute température. Si des observations postérieures venaient à confirmer celle-ci, l'hydrogène, l'hydrate de carbone, et peut-être même les spectres du sodium ou du fer qu'on a observés, auraient bien pu provenir d'atomes refroidis; il n'est même pas tout à fait impossible d'imaginer qu'ils proviennent, non pas de la substance même qui compose la planète, mais d'un résidu de substance, errante et très ténue, à travers laquelle passerait la comète.

» Il y a, dans cette observation remarquable, un autre caractère présentant un égal intérêt.

Digitized by Google

Les raies du spectre n'étaient pas tout à fait à leur place, toutes étaient portées vers l'infrarouge d'une distance à peu près deux fois égale à celle qui sépare les raies. Si une ou deux raies seulement avaient présenté ce caractère, on aurait pu leur soupçonner une origine différente ; mais comme toutes les séries sont fidèlement reproduites, il est raisonnable de considérer le spectre comme modifié à ce point, comme si l'énergie des atomes d'azote n'avait pas seulement été mise en action, mais s'était trouvée chargée des émanations du radium.

» Avant de laisser de côté ces spéculations aventureuses sur la possibilité d'un rapport entre la radio-activité et les comètes, je vous demanderai la permission de me reporter une fois de plus aux conclusions de Bredechin. Celui-ci a trouvé qu'il suffit de supposer trois espèces de matières, sortant du noyau avec trois vitesses initiales, et soumises à une répulsion venant du soleil, avec trois groupes de forces de répulsion — c'est-à-dire par rapport à l'attraction due à la gravitation —, pour expliquer complètement tous les phénomènes observés dans toutes les espèces de comètes. Sa plus haute vitesse initiale est à peine de 8 km par seconde, et sa plus faible d'environ 400 m par seconde. Sa plus haute force répulsive, déduction faite de l'attraction, est seulement égale à onze fois la gravitation, et sa plus basse à un cinquième seulement de la gravitation. Si donc, avec de telles forces et de telles vitesses, on peut donner une explication exacte de ces phénomènes. Il pourrait sembler futile de considérer comme possible que des vitesses initiales 4 000 à 80 000 fois plus grandes, et des forces de répulsion à peu près aussi considérables, puissent produire des effets qui aient avec les premiers la moindre analogie. Tel n'est pas nécessairement le cas, car avec la séparation relativement lente qui s'opère entre les atomes de la substance de Bredechin et le noyau de la comète, chacun d'eux décrivant son hyperbole convexe par rapport au soleil, la queue, à n'importe quel moment, représente la position occupée par un nombre indéfini d'atomes, qui se sont séparés du noyau, lorsque celui-ci se trouve à une certaine distance en arrière ; tandis qu'avec les vitesses et les forces énormes qui font maintenant l'objet de notre discussion, la comète se meut si lentement, en comparaison, que l'on pourrait considérer la queue comme représentant la route qu'elle suit au moment même.

III. Sur l'enseignement dans les écoles anglaises. — Dans cette partie de son discours, M. Vernon Boys déplore la faible part qui est faite à l'enseignement des sciences dans les écoles publiques anglaises. Ce n'est pas qu'il méconnaisse l'importance de l'étude du grec et du latin dans la haute culture littéraire. « Dans l'état actuel de la société, dit-il, le grec et le latin sont aussi utiles à l'éducation qu'une connaissance étendue de Confucius est essentielle à un Chinois instruit ; ils nous permettent d'apprécier les ouvrages de nos grands écrivains, de comprendre les mêmes allusions, d'avoir la même idée du développement de notre civilisation. Il est peu d'hommes de science, — il n'en est peut-être aucun — qui désireraient voir l'abolition de toutes ces études dont quelques-unes sont essentielles à une culture générale. » Mais ce que Vernon Boys réclame, c'est que le temps consacré aux langues mortes soit considérablement diminué pour la majorité des élèves.

A propos de l'enseignement des mathématiques, il déplore la nécessité où l'on est de consacrer un temps considérable au système compliqué de poids et mesures employé en Angleterre. « En Angleterre, dit-il, par suite de la complication de notre système de poids et mesures, dont nos ministres et notre Parlement n'osent pas nous rendre le service de nous débarrasser, les quelques heures destinées aux mathématiques sont employées à apprendre des tables qu'on ne devrait jamais avoir à apprendre, à faire des réductions composées destinées simplement à embarrasser les élèves sans leur faire faire aucun progrès, et (comme si notre système actuel n'était pas assez futile), à apprendre des listes d'anciennes valeurs, qui présentent l'utilité très grande de faire passer le temps aux enfants ! »

En terminant, l'orateur fait ressortir l'utilité d'un lien étroit entre l'enseignement et l'industrie et constate avec plaisir que déjà dans de nombreux établissements polytechniques on a abandonné la vieille routine et donné à l'enseignement des sciences la place qu'il doit nécessairement avoir à notre époque.

Le Gérant : C. NAUD.

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 31 Octobre 1903. 10e Année. — N° 44

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**. Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**. Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

LA CONFÉRENCE INTERNATIONALE DE BERLIN
SUR LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Tous ceux qui s'intéressent au développement de la télégraphie hertzienne et principalement à celui de la télégraphie sans fil seront curieux de connaître les résultats de la conférence qui s'est tenu, du 4 au 13 août, à Berlin, sur l'invitation du gouvernement allemand. — Les opinions qui se sont fait jour au cours des discussions intervenues entre les divers commissaires reflètent d'une manière très curieuse les préoccupations d'ordre si diverses qui agitent ceux qui, soit au point de vue commercial, soit au point de vue scientifique, s'intéressent au développement pratique de la nouvelle télégraphie.

Nous croyons devoir, dans ce compte rendu, laisser le lecteur libre d'apprécier ces discussions. Nous nous contenterons donc de rendre compte de cette conférence avec la plus complète impartialité, en laissant de côté les réflexions qu'elle suggère.

Commençons par faire connaître au lecteur les noms des divers commissaires que les gouvernements sollicités avaient chargés d'aller discuter à Berlin les intérêts de la télégraphie sans fil pratique et d'élaborer, si possible, un règlement international pour en généraliser et en organiser l'emploi.

Huit États ont répondu à l'invitation du gouvernement allemand : l'Angleterre, l'Autriche, l'Espagne, la France, la Hongrie, les Etats-Unis, l'Italie et la Russie. Les délégués au nombre de 49 se répartissaient ainsi :

Pour l'Allemagne : MM. Sydow, Strecker, Wachenfeld, Schrader, Fluegel, Rieve, Most, Felish, Beggerow, Oschmann, Klussmann, Fuhrken, Lindow, Pfitzner, Oberlander.

Pour l'Autriche : MM. de Stibral, Linninger, Sellner.

Digitized by Google

Pour l'Angleterre : MM. Lamb, Gavey, Mackay, Hippisley, Heat, Payne.
Pour l'Espagne : MM. Calvo y Juana, Pelaez, Campomanes, Garcia de los Reges.
Pour les Etats-Unis : MM. A. W. Greelly, F. M. Barber, I. Waterbury.
Pour la France : MM. Bordelongue, Sins, Boulanger, Arago, Houdaille, Magne.
Pour la Hongrie : MM. Folèrt, Kolossvàry, Hollòs, Sellner.
Pour l'Italie : MM. Grillo, Bonomo, Solari, Cardarelli.
Pour la Russie : MM. Salewsky, Osadschy, Bilibine, Popoff.

Le secrétaire d'Etat allemand Kraetke ouvrit la conférence, et après avoir souhaité la bienvenue aux délégués étrangers crut devoir faire brièvement l'histoire de la télégraphie sans fil.

Il rappelle les travaux de Faraday, ceux de Maxwell, puis la découverte capitale de Hertz. Après avoir fait allusion aux travaux de Lord Kelvin sur la décharge oscillante et aux essais de télégraphie à distance faits par Hughes sur une distance de 500 mètres, M. Kraetke arrive à la découverte du cohéreur par M. Branly, aux travaux de Lodge et à ceux de Popoff. Il indique enfin l'essor donné par M. Marconi à la nouvelle télégraphie et s'excuse de ne pouvoir citer les savants de toutes les nations qui ont fait progresser le nouveau mode de communication télégraphique en se contentant de dire que « les noms de Braun, Ducretet, de Forest, Fessenden, Righi, Slaby, Arco, Tesla, sont appréciés de tous. »

Puis les travaux commencent, après un discours de remerciements du délégué anglais, M. Lamb, sous la présidence du sous-secrétaire d'Etat aux postes d'Allemagne, M. Sydow. Pour rendre plus aisée la discussion à intervenir M. Sydow soumet aux délégués les articles suivants de la convention proposée par le gouvernement allemand :

Article premier. — Les stations de télégraphie sans fil (radiotélégraphie) destinées aux communications avec les navires en mer seront soumises aux dispositions suivantes :

§ 1 — Les radiotélégrammes à destination ou provenant des navires seront reçus et expédiés quelque soit le système employé.

§ 2 — La longueur d'onde employée dans la station côtière pour le trafic maritime général sera l'objet d'un avis public.

Il sera admis de s'entendre sur l'emploi d'une longueur d'onde spéciale qui ne soit pas soumise à la publication.

§ 3 — Les taxes pour l'échange des radiotélégrammes entre les stations côtières et les navires devront être raisonnables. La moitié de la taxe reviendra à la station côtière, l'autre moitié à la station du bord.

Art. II. — L'établissement et l'exploitation des stations radiotélégraphiques, destinées au service des navires en mer, ne seront concédés qu'aux compagnies qui se soumettront aux conditions de l'article I.

La taxe devra être approuvée par le gouvernement sur le territoire duquel se trouve la station côtière. Seront exclues les compagnies qui refuseraient, dans les pays non contractants, d'entrer en communication avec les stations de bord des navires munis de systèmes différents, ou qui chercheraient d'une manière quelconque à rendre difficiles les communications.

Art. III. — Un règlement fixera un mode uniforme pour le service des stations côtières avec les stations de bord. Ces stations seront tenues d'observer les dispositions de ce règlement.

Art. IV. — Les dispositions de la présente convention ne seront pas applicables aux stations radiotélégraphiques destinées exclusivement aux communications avec les navires de guerre.

Digitized by Google

Art. V. — Les pays qui n'ont pas adhéré à la présente convention y seront admis sur leur demande.

Discussion. — M. Lamb (Angleterre) fait observer que la radiotélégraphie est encore à ses débuts et que les limites de ses applications ne sont pas connues.

M. Bordelongue (France) reconnaît la nécessité de régler les applications radiotélégraphiques dans un sens favorable à l'intérêt public.

Les délégués italiens sont d'accord pour déclarer nécessaire une discussion sur les 3 paragraphes de l'article I, qui est le plus important.

M. Salewsky (Russie) demande de reporter au lendemain la discussion.

Deuxième Séance. — Les délégués des Etats-Unis pensent qu'étant donné l'état incomplet de la science radiotélégraphique la conférence actuelle ne doit s'occuper que des questions d'ordre général.

M. Solari (Italie) à propos du § 1 de l'article I énumère les difficultés auxquelles donnera lieu l'acceptation de télégrammes de tous systèmes. Il les prévoit d'ordre technique, organique, commercial, militaire et même scientifique. Il propose l'adoption d'un système unique ; sans donner de préférence à aucun d'eux il trouve que le système Marconi offre des résultats satisfaisants que lui-même a pu constater.

Le délégué français (?) reconnaît aussi la nécessité d'un système unique. On discute ensuite les dispositions relatives aux communications des navires avec la côte ou des navires entre eux. On reconnaît la nécessité de régler ce service afin d'éviter les troubles des communications.

M. Bordelongue (France) considère les questions suivantes comme essentielles : Quelles sont les qualités d'un bon fonctionnement ? Qui devra juger les qualités d'un système ?

M. Cardarelli (Italie) considère comme le meilleur appareil celui qui assure les communications jusqu'à 300 ou 400 kilomètres. Les qualités d'un système devront, dit-il, être jugées par une commission internationale.

M. Greely (Etats-Unis) estime qu'on doit laisser libre la concurrence, afin de permettre le perfectionnement des divers systèmes.

M. Lamb (Angleterre) expose la situation où se trouve la Grande-Bretagne relativement au contrôle que le gouvernement peut exercer sur la télégraphie sans fil. Dans les autres pays le gouvernement peut encore refuser les concessions de télégraphie sans fil ou ne les accorder que sous la réserve d'observer des règlements déterminés et qui pourront être édictés. En Angleterre, au contraire, les compagnies ont pu s'établir sans se soumettre à aucune condition. Ainsi l'Angleterre a laissé le champ libre à la concurrence sans aucune restriction de la part du gouvernement. Il faudrait donc maintenant restreindre cette liberté en imposant aux compagnies existantes d'échanger des communications avec leurs concurrents, qui peuvent, peut-être, ne pas avoir atteint le même degré de développement. S'il est admissible que les stations soient obligées d'échanger des signaux avec les navires en péril et avec les navires de guerre de toute nation quels que soient les systèmes, quand toutefois cela est possible, elles ne devraient être soumises à aucune obligation dans le service ordinaire, sauf sous la condition de sauvegarder les intérêts de la compagnie qui a dû faire de grands frais d'installation.

Cela se pourrait en attribuant à la compagnie une rétribution spéciale, par exemple une taxe plus élevée pour toute communication échangée avec des navires munis d'appareils de systèmes différents.

M. Solari (Italie) a pu juger de la liberté accordée en Angleterre à tous les systèmes et

Digitized by Google

il croit difficile de restreindre cette liberté même en accordant à cet effet une indemnité. Ne serait-il pas plus utile d'adopter provisoirement, pour le service international, le système qui a donné les meilleurs résultats et de laisser libre la concurrence des autres systèmes dans le service intérieur.

Sur une déclaration de M. Lamb (Angleterre) relativement à la nécessité de régler la rémunération de la compagnie, le Président fait observer qu'un gouvernement ne peut être obligé d'indemniser une compagnie qui n'a reçu aucune autorisation. Un règlement international, du reste, ajoute-t-il, sera plutôt un avantage qu'un désavantage pour les compagnies existantes, y compris celle de M. Marconi.

La délégation italienne ne peut accepter le § 1 de l'article I. M. Grillo (Italie) déclare que le gouvernement italien n'acceptera qu'un système choisi et admis par une commission internationale.

M. Bordelongue (France) fait observer que les États ont tout intérêt à choisir le meilleur système, mais on serait actuellement bien imprudent d'affirmer la supériorité d'un système. M. Marconi est un savant éminent auquel la radiotélégraphie doit beaucoup et devra plus encore dans l'avenir, mais d'autres savants ont obtenu d'excellents résultats et pour ne citer qu'un nom M. Bordelongue rappelle les travaux du délégué M. Popoff.

M. Grillo (Italie) remarque que les appareils Marconi répondent le mieux aux besoins des communications internationales. Ce sont les seuls qui aient avec succès permis de traverser l'Atlantique.

M. Hollòs (Hongrie) se prononce pour la libre concurrence de tous les systèmes.

Le Président constate que la plupart des délégués sont partisans de la libre concurrence, sauf les délégués italiens qui ont fait des réserves réitérées et les délégués anglais qui y trouvent une grande difficulté dans l'état actuel de la législation.

M. Strecker (Allemagne) considère la syntonie comme la plus importante question de télégraphie sans fil. Il propose de rendre publics les éléments de syntonisation, afin de permettre l'échange des télégrammes. On pourrait admettre les systèmes à syntonie aiguë pourvu que les éléments de cette syntonie soient connus. Les stations côtières devront être installées de manière que tout navire connaissant les éléments de la syntonie puisse se faire entendre d'une station côtière quelconque assez voisine.

M. Solari (Italie) fait remarquer qu'en aucun cas les méthodes de syntonie ne sont brevetées; en rendre connues les données techniques serait léser les intérêts des inventeurs.

M. Strecker (Allemagne), à propos du § 2 de l'article I dit que pour la syntonie, il est nécessaire de faire connaître la longueur d'onde dont se sert la station. Quelle longueur d'onde sera adoptée. Il serait peut être bon de fixer une progression : 100 m, 200 m, 300 m,..... ou bien 150 m, 250 m, 350 m,...., pour pouvoir en choisir une, mais il serait mieux de choisir une longueur d'onde recommandée comme longueur d'onde normale.

M. Calvo y Juana (Espagne) dit que, outre la longueur d'onde, il sera nécessaire de faire connaître encore la portée maxima de transmission.

M. Boulanger (France) remarque que la bonne syntonie dépend encore d'une extrême sensibilité du récepteur. Il propose de faire de sérieuses études, afin d'obtenir un récepteur parfait.

M. Bordelongue (France) propose de varier ainsi la rédaction du § 2 : Les États contractants devront rendre publiques les données techniques susceptibles de faciliter et d'accélérer les communications entre les stations côtières et les navires en mer. Toutefois tout gouvernement contractant pourra autoriser les stations situées sur son territoire, et cela dans les

Digitized by Google

conditions qu'il jugera nécessaires, à utiliser plusieurs installations ou dispositifs différents.

M. Cardarelli (Italie) ne peut adhérer à cette proposition, cela pour plusieurs raisons. Il dit qu'il est impossible de fixer préalablement une longueur d'onde dont la grandeur et le choix puissent être un élément de perfectionnement des systèmes pour les grandes distances.

Troisième séance. — On reprend la discussion concernant la syntonie.

M. Gavey (Angleterre) fait remarquer que la plupart des stations côtières ont adopté les systèmes sans syntonie. Il divise à ce propos les divers systèmes en trois catégories : les systèmes sans syntonie, les systèmes avec syntonie partielle et les systèmes à syntonie absolue ou aiguë.

Pour les stations du 1er système il serait nécessaire de savoir : 1° qu'elles sont sans syntonie, 2° quelle est leur portée ordinaire et non pas leur portée maxima. — Pour les stations des autres systèmes, à syntonie partielle ou parfaite, il est nécessaire de connaître : 1° la longueur d'onde, 2° la portée ordinaire, 3° les éléments qui permettent de syntoniser le récepteur.

Le président résume cette importante discussion sur la syntonie et conclut qu'en général il n'y a pas lieu de publier les détails techniques concernant les stations côtières, sauf la longueur d'onde et la portée moyenne. Il serait désirable de choisir une longueur d'onde que les stations puissent facilement adopter.

Les délégués italiens ne peuvent pour le moment adhérer à ces conclusions et croient nécessaire de se mettre d'accord avec M. Marconi.

On s'occupe alors de la taxe pour l'échange des télégrammes.

La solution de cette question semble encore précoce et devra être renvoyée à une autre conférence.

On passe à la question des indemnités aux compagnies. Les délégués anglais et italiens ont la parole.

M. Lamb (Angleterre) croit préférable d'accorder aux compagnies qui ont établi des stations le droit d'une surtaxe sur tout télégramme échangé avec les navires munis d'appareils différents.

M. Grillo (Italie) s'associe à cette proposition et la discussion est renvoyée à une autre séance.

Sur un amendement présenté par le gouvernement allemand, MM. les délégués Bordelongue pour la France, de Stibral pour l'Autriche, Salewsky pour la Russie, Hollòs pour la Hongrie, déclarent que dans leurs Etats la télégraphie sans fil est soumise à un monopole d'Etat.

M. Lamb dit qu'en Angleterre la télégraphie sans fil est soumise à un monopole d'Etat, mais seulement pour les communications intérieures.

Quatrième séance. — On reprend la discussion sur l'indemnité et les taxes. M. Lamb (Angleterre) est partisan d'une surtaxe à établir au profit de la station qui doit correspondre avec une autre munie d'un système quelconque ; mais il repousse pour son pays toute obligation d'indemnité.

M. Bordelongue (France) discute la question de l'indemnité et conclut qu'il est nécessaire de protéger impartialement l'intérêt public sans accorder de privilège.

M. Grillo (Italie) abandonne le principe de l'indemnité et s'associe à la proposition des délégués anglais.

Digitized by Google

M. Lamb (Angleterre), propose d'adopter une taxe normale dans les états qui ont des stations côtières et de ne pas augmenter de plus de 50 p. 100 les frais de surtaxe.

La question de la taxe continue à être discutée par les délégués. Les délégués italiens feront en sorte de décider leur gouvernement à changer son contrat avec Marconi, sous réserves d'indemnité.

Cinquième séance. — M. Bonomo (Italie) lit un mémoire sur les inconvénients qu'il y a, au point de vue du service radiotélégraphique international, de n'avoir pas encore adopté un système unique.

Au cours de ce mémoire, d'ordre technique, M. Bonomo propose d'élaborer pour les communications internationales un règlement qui viserait les questions suivantes :

I. Prescriptions relatives aux appareils, à leur portée, à la tonalité à donner aux stations côtières commerciales et aux navires ; à la réduction de l'énergie employée suivant la distance ; à la défense de se servir des appareils lorsque les navires de commerce sont à l'ancre.

Une règle pour établir les limites d'emploi des appareils radiotélégraphiques dans les stations côtières militaires et dans celles des navires de guerre. Une règle pour la concession des postes, soit sur les navires, soit sur les côtes.

Une règle pour annoncer l'entrée en service d'une nouvelle station, soit sur les côtes, soit sur les navires.

Le devoir des neutres en temps de guerre envers les belligérants et vice versa.

Une règle pour la taxation des radiotélégrammes depuis leur émission jusqu'à leur destination et vice versa.

II. Une règle à suivre pour les communications réciproques.

III. Une liste des postes de commerce côtiers, des navires ouverts au service avec leur nom et le service auquel ils sont affectés et une liste des compagnies de navigation qui ont des navires munis d'appareils de télégraphie sans fil.

M. Schrader (Allemagne) répond au long mémoire de M. Bonomo. Il pense qu'un règlement de service international doit être basé sur l'expérience de toutes les nations contractantes et que l'élaboration de ce règlement est peut-être prématurée pour cette conférence et doit être remise à une conférence ultérieure. Il ne croit pas que l'organisation de la télégraphie sans fil internationale nécessite l'adoption d'un système unique. Il n'y a actuellement pas de système dont la supériorité absolue et définitive soit généralement reconnue.

D'après M. Schrader, le règlement à élaborer devra contenir :

1° Une règle pour le service technique proprement dit, c'est-à-dire pour l'instruction du personnel.

2° Des dispositions propres à éviter les perturbations.

3° Des dispositions pour l'application et la perception des taxes dont les bases seront fixées dans la convention à intervenir.

4° Des dispositions pour la comptabilité de cette taxe.

Il y aura donc lieu, d'après le délégué allemand, d'examiner dans une conférence ultérieure les deux questions suivantes :

I. Les articles des règlements du service télégraphique ordinaire international qui sont applicables à la télégraphie sans fil.

II. Les règles spéciales qu'il y a lieu d'établir pour la télégraphie sans fil.

Comme il est nécessaire d'obvier à la confusion des communications par la mise en

Digitized by Google

vigueur de règles très précises, M. Schrader croit devoir, sans anticiper sur les travaux d'une conférence ultérieure, attirer l'attention sur les deux points suivants :

1° Que ce soit toujours la station côtière qui prescrive l'ordre de transmission quand plusieurs navires se trouvent dans le champ d'action de cette station et qu'ils demandent simultanément à communiquer avec elle.

2° Les communications des stations côtières avec les navires auront la priorité sur les communications des navires entre eux, sauf en cas de péril.

Vu l'état actuel des débats et vu les difficultés qu'il y a actuellement à conclure, le Président propose de renvoyer l'élaboration d'un règlement définitif à la prochaine conférence, Il croit bon toutefois que les résultats de cette première réunion fassent l'objet d'un protocole approuvé par les Etats qui croiront pouvoir le faire ; les autres délégués pourront, s'ils le veulent, soumettre ce protocole à l'approbation de leur gouvernement.

Sixième et dernière séance. — M. Bordelongue (France) lit les articles du protocole suivant à soumettre à l'approbation des divers gouvernements :

Article premier. — L'échange des correspondances entre les navires en mer et les stations côtières de télégraphie sans fil, ouvertes au service télégraphique général, est soumis aux dispositions suivantes :

§ 1. Est appelée station côtière, toute station fixe dont le champ d'action s'étend sur la mer.

§ 2. Les stations côtières sont tenues de recevoir et de transmettre les télégrammes provenant ou à destination des navires en mer, quel que soit le système de télégraphie sans fil employé par cette station.

§ 3. Les Etats contractants rendront publiques toutes les données techniques de nature à faciliter ou à accélérer les communications des stations côtières avec les navires en mer.

Toutefois, tout gouvernement contractant peut autoriser les stations situées sur son territoire et sous les réserves qu'il jugera nécessaires, à utiliser plusieurs installations ou dispositifs spéciaux.

§ 4. Les états contractants déclarent adopter, pour fixer le tarif applicable au trafic télégraphique des échanges de communications entre les navires en mer et le réseau international, les bases suivantes :

La taxe totale à percevoir pour ce trafic est établie sur parole, elle comprend :

a) La taxe relative au parcours sur la ligne du réseau télégraphique parcouru, laquelle est fixée par les règlements télégraphiques internationaux en vigueur, annexés à la convention de Saint-Pétersbourg.

b) La taxe inhérente au parcours maritime.

Cette dernière est fixée comme la précédente suivant le nombre de mots compté conformément au règlement télégraphique international.

Elle comprend :

1° Une taxe dite « *taxe de la station côtière* » qui revient à cette station ;

2° Une taxe dite « *taxe de bord* » qui revient au poste installé sur le navire.

La taxe de la station côtière est soumise à l'approbation du gouvernement sur le territoire duquel est établie la station ; celle du bord, à l'approbation du gouvernement dont le navire porte le pavillon.

Chacune de ces deux taxes devra être fixée sur les bases d'une rémunération équitable du travail télégraphique.

Art. II. — Un règlement qui sera annexé à la convention à intervenir, établira la règle

Digitized by Google

applicable à l'échange des communications entre les stations côtières et les postes de bord des navires. Les prescriptions de ce règlement pourront toujours être modifiées d'un commun accord par les administrations des États contractants.

Art. III. — Les dispositions de la convention télégraphique de Saint-Pétersbourg sont applicables aux transmissions des télégrammes sans fil en tant qu'elles ne sont pas contraires à la convention à intervenir.

Art. IV. — Les stations de télégraphie sans fil, à moins d'impossibilité matérielle, devront accepter par priorité les demandes de secours qui leur parviendraient des navires.

Art. V. — Le service d'exercice des stations de télégraphie sans fil devra être organisé autant que possible de manière à ne pas troubler le service des autres stations.

Art. VI. — Les gouvernements contractants se réservent respectivement le droit de prendre toutes les dispositions particulières ayant pour but d'obliger les entrepreneurs exerçant sur le territoire des stations de télégraphie sans fil de suivre pour toutes leurs stations les prescriptions de la convention à intervenir.

Art. VII. — Les prescriptions de la convention à intervenir ne sont pas applicables aux stations d'Etats de télégraphie sans fil non ouvertes au service télégraphique général, sauf en ce qui concerne les clauses qui forment l'objet des articles IV et V.

Art. VIII. — Les pays qui n'ont pas adhéré à la convention y seront admis sur leur demande directe.

Approuvé par les délégués d'Allemagne, d'Autriche, d'Espagne, des Etats-Unis, de France, de Hongrie et de Russie.

Déclaration de la délégation d'Angleterre. — La délégation anglaise s'engage à soumettre les bases ci-dessus à l'examen de son gouvernement, mais déclare que, en vue de la situation dans laquelle se trouve la télégraphie sans fil dans le Royaume-Uni, elle fait une réserve générale.

Cette réserve se rapporte surtout à l'article I § 2 et à l'application de l'article VII.

Déclaration de la délégation italienne. — La délégation italienne pour accepter de soumettre à l'examen de son gouvernement les propositions contenues dans le protocole final de la conférence, doit, selon la déclaration faite au cours des diverses séances, faire pour le compte de son gouvernement les réserves suivantes :

Article premier § 2. — Accepte le texte proposé sous la condition de l'addition : « pourvu que tous ces systèmes donnent une garantie notoire de bon fonctionnement dans les correspondances réciproques quant à la perfection de l'organisation et à la sécurité des communications ».

Article premier § 3. — Le premier alinéa de ce paragraphe ne peut être accepté à cause de la convention intervenue entre Marconi et le gouvernement qui s'est engagé à tenir secret les détails des installations.

Art. VI. — Le texte de cet article ne peut être accepté et doit être limité à la déclaration de la part du gouvernement de faire son possible pour introduire dans la convention stipulée avec Marconi des modifications dans le sens désiré.

A. Turpain.

Digitized by Google

SUR LES ACIERS DOUX EMPLOYÉS DANS LA CONSTRUCTION
DES MACHINES ÉLECTRIQUES

Beaucoup de problèmes qui se présentent en métallurgie se ramènent à chercher les relations qui existent entre les qualités qui définissent l'état d'un métal — sur lesquelles on peut agir en variant les procédés d'élaboration et de transformation du métal, — et certaines propriétés que l'on se propose d'utiliser.

Au point de vue des qualités électriques et magnétiques des aciers, les propriétés à considérer sont : la résistivité, la perméabilité magnétique et le coefficient d'hystérésis.

L'étude des relations entre l'état d'un métal et ses propriétés a été longtemps purement empirique. Dans ces dernières années, elle s'est systématisée au point de constituer un embryon de science spéciale, à laquelle on a donné le nom de métallographie.

L'un des points les plus importants qui aient été mis en évidence par les études métallographiques consiste dans la démonstration de la structure hétérogène des métaux. Les métaux industriels ne sont jamais purs; les éléments qui y sont mélangés, soit intentionnellement, soit par suite des nécessités de fabrication, se groupent entre eux et se juxtaposent de façons variables, suivant qu'ils existent en proportions plus ou moins grandes, et que le métal a été soumis à différents traitements thermiques ou mécaniques. Pour définir l'état d'un métal, il faut donc connaître non seulement la nature et la quantité des éléments qui le constituent, mais encore savoir comment ces éléments se sont combinés chimiquement, et comment les constituants ainsi formés se sont développés et groupés géométriquement.

Les procédés auxquels on a recours pour étudier de cette façon la constitution des métaux sont très variés; le plus direct, et celui qui, s'il n'est pas le plus parfait, se prête le mieux à un exposé rapide, est l'étude microscopique des métaux. En examinant au microscope des fragments de métaux polis, convenablement préparés, on y distingue facilement les divers constituants, et l'on peut suivre leurs transformations.

On peut constater ainsi, entre autres choses, que :

1° Des métaux de compositions élémentaires identiques peuvent contenir des groupements chimiques très différents. La fonte de fer en est un des exemples les plus importants et les plus simples. On sait qu'une fonte peut contenir la même quantité de carbone, soit à l'état de cabure de fer, Fe^3C, (fonte blanche), soit à l'état de graphite (fonte grise), et présente dans les deux cas des propriétés très différentes.

2° Des éléments miscibles en toutes proportions peuvent se combiner différemment suivant que l'un ou l'autre domine. Tel est le cas des alliages de fer et d'antimoine, par exemple. Ces deux corps peuvent se combiner pour former un composé chimique défini, un antimoniure de fer qui a pour formule Sb^3Fe^4, et on peut considérer qu'il y a deux catégories d'alliages d'antimoine et de fer : les plus riches en antimoine sont en réalité des alliages d'antimoine et d'antimoniure de fer, les plus riches en fer sont au contraire des alliages de fer et d'antimoniure de fer.

M. Pierre Weiss a étudié les alliages de fer et d'antimoine, et a trouvé les susceptibilités magnétiques à l'origine inscrites dans le tableau suivant :

Fer p. 100. .	26,0	29,8	33,9	38,6	42,7	45,2	51,2	54,4	56,8
à l'origine.	0,00009	0,00023	0,00050	0,0051	0,125	0,167	0,330	0,82	1,06
								...	

Digitized by Google

Si on interprète ces résultats graphiquement, on trouve que la courbe représentant les susceptibilités magnétiques en fonction de la teneur en fer, se compose de deux branches, dont le point d'intersection correspond à l'alliage à 38 p. 100 de fer; cette teneur en fer est précisément celle du composé Sb^3Fe^4.

La première partie de la courbe correspondrait aux alliages formés d'antimoine et du corps Sb^3Fe^4, antimoniure de fer, très faiblement magnétique; la deuxième branche de la courbe correspondrait aux alliages de fer et d'antimoniure de fer, dans lesquels la susceptibilité magnétique augmente rapidement avec la teneur en fer.

En fait, si on prolonge cette seconde branche de courbe, on peut la faire passer par le point qui représente la susceptibilité magnétique à l'origine du fer pur (6, 4, d'après lord Rayleigh).

L'examen microscopique permet de constater facilement l'existence du composé Sb^3Fe^4.

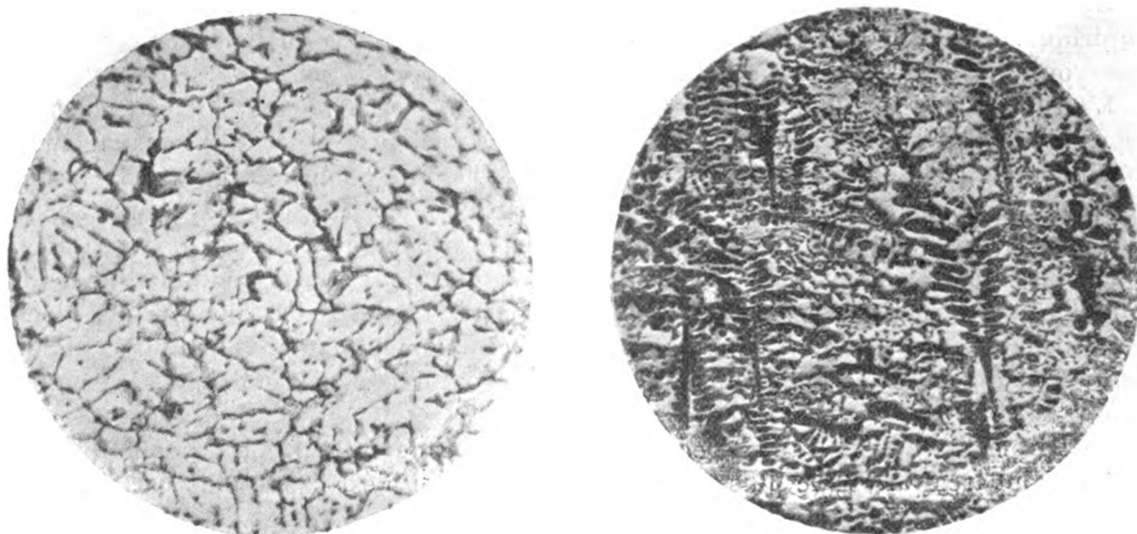


Fig. 1. — Alliage de fer et d'antimoine à 40 p. 100 de fer. Fig. 2. — Alliage de fer et d'antimoine à 55 p. 100 de fer.

Les alliages contenant près de 38 p. 100 de fer sont à très peu près homogènes : la figure 1 reproduit l'aspect d'un alliage à 40 p. 100 de fer; les parties blanches, qui occupent la presque totalité de l'image, correspondent à l'antimoniure de fer qui forme presque tout le métal.

Dans les alliages plus riches en fer, la proportion de ce corps diminue, et on voit augmenter la proportion des parties riches en fer, qui apparaissent colorées en noir après attaque à l'acide azotique.

La figure 2 reproduit l'aspect d'un alliage à 55 p. 100 de fer.

Au contraire, dans les alliages contenant moins de 38 p. 100 de fer, la proportion d'antimoine libre augmente, et ce métal peut se présenter en cristaux très nets, entourés d'un mélange entectique d'antimoine et d'antimoniure de fer, comme dans la figure 3 (alliage à 90 p. 100 d'antimoine).

Au point de vue des propriétés magnétiques, cette distinction des alliages en deux catégories est nettement marquée. La susceptibilité magnétique, étudiée par M. Pierre Weiss, reste toujours très faible dans les alliages d'antimoine et d'antimoniure de fer, bien qu'elle varie avec la composition; elle augmente au contraire très rapidement avec la teneur en fer, pour les alliages d'antimoniure de fer et de fer.

Digitized by Google

3° Le traitement thermique peut modifier notablement la répartition chimique et géométrique des constituants. Les faits les plus importants de ce genre sont les phénomènes de cristallisation par recuit, très nets dans le cuivre et la plupart de ses alliages, et les phénomènes de trempe qui détruisent souvent les cristallisations, et peuvent maintenir certains éléments à l'état de solution solide.

4° Enfin, les différentes déformations mécaniques produisent naturellement des déformations et même des ruptures des constituants élémentaires.

Considérons plus spécialement le cas de l'acier. Un acier pur, formé à peu près exclusivement de fer et de carbone, recuit à haute température (900°) et refroidi lentement, se compose de grains de fer probablement pur (ferrite), entourés d'un constituant qu'on appelle la perlite, et qui est formé de lamelles entrelacées de fer et de carbure de fer (ferrite et cémentite). La perlite, qui contient tout le carbone du métal, est naturellement en proportion d'autant plus forte que le métal est plus carburé. Elle constitue à peu près seule l'acier à 0,90 p. 100 de carbone; elle n'existe qu'à l'état de traces, formant les joints des grains de ferrite, dans les aciers extra-doux à faible teneur en carbone.

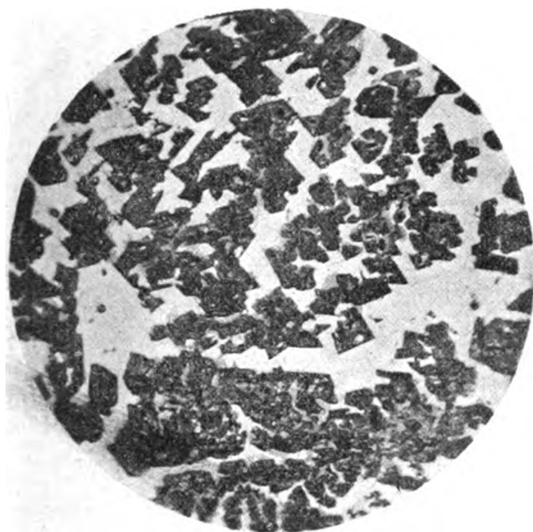


Fig. 3. — Alliage de fer et d'antimoine à 10 p. 100 de fer.

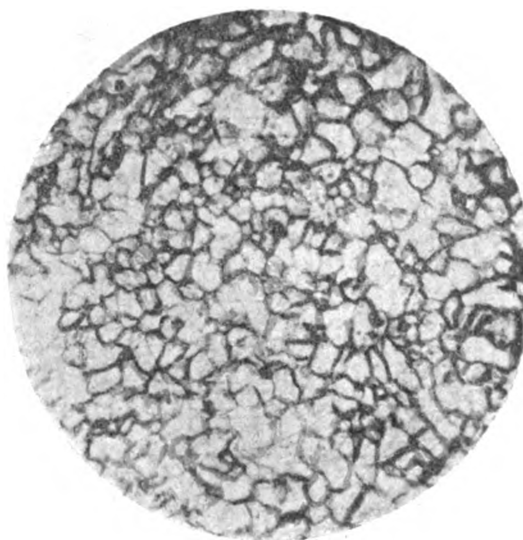


Fig. 4. — Acier doux, trempé à 900°, grossissement 250 diamètres.

Voyons comment cette structure est modifiée par les principales causes qui peuvent intervenir, savoir : *a*. L'introduction dans l'acier de substances autres que le fer et le carbone; *b*. Le traitement calorifique; *c*. Le traitement mécanique.

a. Les éléments autres que le fer et le carbone que l'on peut introduire dans l'acier, soit en vue d'en faciliter l'élaboration, soit en vue d'en modifier certaines propriétés, peuvent se diviser en deux groupes :

Les uns se mélangent intimement au fer, de façon à former une solution solide sous forme de grains parfaitement homogènes et identiques en apparence aux grains de ferrite, mais ayant des propriétés très différentes. Tels sont le nickel, le silicium, l'aluminium.

D'autres éléments formeront, soit avec le fer, soit avec le carbone, des composés non miscibles au fer, qui se localiseront entre les grains, comme la perlite. Le soufre, par exemple, se sépare entièrement sous forme de sulfure de fer; le chrome, le tungstène se

Digitized by Google

combinent avec le carbure pour former des carbures doubles qui se localisent dans la perlite.

Il y a, bien entendu, des éléments qui se répartissent entre le fer et le carbone, surtout quand leur proportion dépasse une certaine valeur.

b. Les traitements calorifiques appliqués aux aciers doux se réduisent généralement à des recuits plus ou moins prolongés, à températures plus ou moins élevées, suivis de refroidissements plus ou moins rapides. Ces différentes manières d'opérer peuvent modifier notablement le développement des grains de fer.

Les aciers doux chauffés à température élevée (950° et au-dessus) et refroidis brusquement, présentent en général des grains très fins (fig. 4).

Quand on maintient ces métaux un temps suffisant à des températures plus basses, de

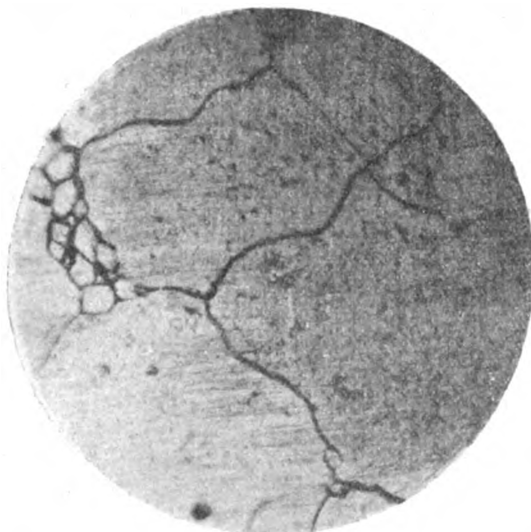


Fig. 5. — Acier doux, recuit à 800°, grossissement 250 diamètres.



Fig. 6. — Acier extra-doux, écroui à froid.

préférence voisines de 800°, les grains de fer se développent graduellement, et peuvent atteindre des dimensions considérables (fig. 5).

Il faut signaler que la présence de certains éléments peut modifier notablement ces phénomènes de cristallisation.

Le nickel tend à donner à l'acier une texture à grains fins ; le silicium et l'aluminium, au contraire, facilitent considérablement la cristallisation de la ferrite. Ces modifications de grains sont assez fortes pour être nettement visibles sur la cassure des métaux, sans qu'il soit besoin de recourir au microscope.

c. Enfin, toute déformation permanente du métal se traduit, naturellement, par une déformation des grains élémentaires. La déformation que l'on aura le plus souvent à considérer sera l'allongement dans un sens, soit par laminage, soit par forgeage, soit par tréfilage. Dans un métal ainsi déformé, les grains s'allongent dans le sens de l'étirage, et peuvent même se briser en grains plus petits (fig. 6). Les phénomènes de cristallisation par recuit signalés plus haut permettent de faire disparaître les déformations, de ramener les grains à être symétriques, et le métal sensiblement identique dans les différentes directions.

Quand la déformation a lieu à chaud, on conçoit facilement qu'il faut tenir compte de ce que les effets de la déformation et du recuit se produisent simultanément et peuvent se détruire mutuellement.

Digitized by Google

Examinons maintenant les conséquences qui peuvent être déduites des considérations que l'on vient d'exposer, au point de vue des propriétés des aciers doux qui intéressent plus particulièrement la construction des machines électriques ; c'est-à-dire la résistivité, la perméabilité magnétique et la perte par hystérésis.

Résistivité. — La conductibilité électrique d'un métal formé par la juxtaposition d'éléments divers paraît être une propriété additive, c'est-à-dire que chaque constituant intervient avec sa résistance propre, et que la conductiblité totale est la somme des conductibilités partielles.

Dans le cas de l'acier au carbone recuit, formé de ferrite et de cémentite, la résistivité

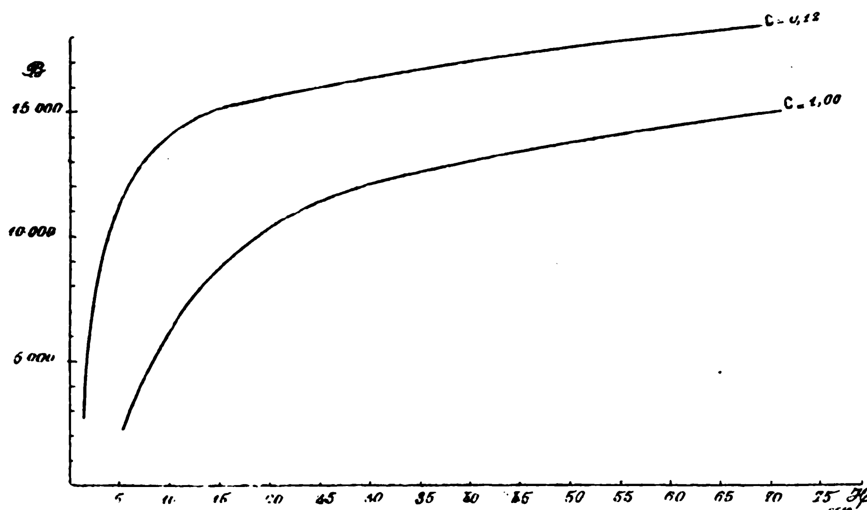


Fig. 7.

devra donc être proportionnelle à la teneur en carbone. M. H. Le Chatelier a trouvé, en effet, que la résistivité augmente de 1,5 microhm par atome de carbone ajouté à 100 atomes de fer et carbone, pour des aciers recuits. Par extrapolation des résultats de ses expériences, il en déduit que la résistance spécifique de la ferrite est de 9,5 microhms, et celle du carbone de 45 microhms.

Parmi les corps autres que le carbone, ceux qui ne se mélangent pas au fer interviennent de la même façon que le carbone : tel est le cas du soufre dont les composés se localisent dans la perlite. Si ces corps sont en petite quantité, ils n'auront donc pas en général une influence très marquée.

Il n'en est pas de même des corps qui se dissolvent dans la ferrite, et dont l'action est extrêmement intense. On sait que dans les aciers trempés le carbone se trouve à l'état de solution solide dans la ferrite ; ces aciers peuvent être considérés comme formés par un seul constituant. Les travaux de M. H. Le Chatelier ont montré qu'en trempant un acier à 0,08 p. 100 de carbone, le passage du carbone de la cémentite à l'état de solution dans le fer augmentait la résistivité dans la proportion de 2,2 à 1. Pour un acier à 1,13 p. 100 de carbone, cette augmentation est dans le rapport de 3 à 1.

M. Le Chatelier conclut que l'augmentation de résistivité est de 7 microhms-centimètre par atome p. 100 de carbone de trempe.

M. Carl Benedicks a étendu cette loi au silicium et au manganèse, en exprimant la quantité de ces éléments contenus dans l'acier par leur « valeur en carbone », c'est-à-dire en

Digitized by Google

multipliant le chiffre qui exprime la teneur pour cent en silicium et en manganèse par le rapport du poids atomique de l'élément considéré à celui du carbone. Ses essais le conduisent à admettre qu'un atome d'un corps dissous, exprimé par sa valeur en carbone, augmente la résistivité d'une quantité constante, et égale à 5,9 microhm-cm.

Si l'on compte la proportion pour cent de chaque élément, on doit donc obtenir la plus grande augmentation de résistivité avec les éléments à faible poids atomique, tels que l'aluminium ou le silicium.

C'est ce que vérifient les expériences récentes de MM. Barrett, Brown et Hadfield auxquels nous empruntons le tableau suivant qui donne l'augmentation de résistance produite par un accroissement de 1 p. 100 de la teneur de différents éléments, dans un acier qui en contient déjà 4 p. 100. Des essais de natures diverses montrent que ces éléments sont dissous.

NOM DE L'ÉLÉMENT	POIDS atomique.	AUGMENTATION de résistance.
Tungstène	184	1,1
Cobalt	59	2,2
Nickel	59	2,5
Chrome	52	3,0
Manganèse	55	5,2
Silicium	28	10,3
Aluminium	27	11,1

Le recuit, et l'écrouissage lorsqu'il n'est pas poussé au point de provoquer des ruptures internes, ne modifient pas les proportions relatives de ferrite et de perlite : ils ne changent pas sensiblement la résistance électrique. La trempe, qui peut maintenir à l'état dissous une certaine quantité de carbone, détermine une augmentation de résistance.

Perméabilité. — En ce qui concerne les propriétés magnétiques, il est certain que la répartition du magnétisme dans un agrégat de matériaux différents, comme la ferrite et la perlite, doit être une question complexe qui mériterait une étude spéciale.

On aura une première approximation en admettant que les grains de ferrite, beaucoup plus perméables que la perlite qui les entoure, se comportent à peu près comme des aimants isolés dans un milieu magnétique.

La perlite doit donc agir, au point de vue de la perméabilité, comme les joints dans un circuit magnétique discontinu. La perméabilité totale sera, par suite, d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, qu'il y aura dans le métal une plus faible proportion de carbone, et en général d'éléments non dissous. C'est ainsi qu'on a été amené à employer, quand on recherche une grande perméabilité, des fers aussi purs que possible.

Nous avons effectué diverses mesures de perméabilité d'aciers au carbone, au moyen du perméamètre Picou, et en opérant sur des barreaux carrés de un centimètre de côté. Nous relevons dans cette série d'essais les résultats suivants :

Un acier très pur, dont la teneur en carbone était de 0,12 p. 100, qui peut donc être considéré comme formé de grains de ferrite purs, séparés par une faible épaisseur de joints, a donné :

FORCE MAGNÉTISANTE	INDUCTION
1,38	2 700
2,91	7 900
6,04	12 200
10,5	14 400
18,8	15 700
41,5	17 000
88,2	18 250

Digitized by Google

La plus grande perméabilité est de 2 780 et correspond à une induction de 6 500 C.G.S.

La perméabilité de cet acier doit être considérée comme notablement inférieure à celle de la ferrite isolée.

Un second acier très pur, contenant 1 p. 100 de carbone, c'est-à-dire formé presque exclusivement de perlite, a donné les résultais suivants :

FORCE MAGNÉTISANTE	INDUCTION
5,20	2 030
10,2	6 380
25,7	12 500
66,4	14 000

La plus grande perméabilité est de 640, et correspond à une induction de 5 500 C.G.S.

La perméabilité de cet acier doit être considérée comme très voisine de celle de la perlite isolée.

Les résultats précédents ont été interprétés graphiquement (fig. 7) ; les courbes ont été contruites en portant en abscisses les champs magnétiques, et en ordonnées les inductions.

Les courbes de perméabilité des aciers purs au carbone, dont les teneurs en carbone sont comprises entre 0,12 et 1 p. 100 ont tous leurs points situés entre les deux courbes de la figure 7.

En ce qui concerne les corps qui se dissolvent dans le fer, l'effet est moins uniforme. Si la plupart paraissent diminuer notablement la perméabilité, comme le nickel et le manganèse, qui, en proportion suffisante, peuvent former des aciers pratiquement non magnétiques, certains éléments, tels que le silicium et l'aluminium, ne la diminuent certainement pas ; ils paraissent même l'augmenter, mais il pourrait se faire que ce soit d'une façon indirecte, en faisant varier la composition de la perlite, et diminuant l'épaisseur des joints entre les grains de fer.

Nous avons fait un grand nombre de mesures de perméabilité sur des aciers au silicium et à l'aluminium. Nous mentionnons ici deux séries d'essais faites sur deux aciers extra doux, très purs, contenant, l'un 2,50 p. 100 de silicium, l'autre 2,50 d'aluminium.

Ces mesures ont été faites à l'aide du perméamètre Picou, sur des barreaux carrés de un centimètre de côté. Dans les tableaux ci-après, la force magnétisante $\mathcal{H}$ et l'induction $\mathcal{B}$ sont exprimées en unités C.G.S.

1° Acier à 2,50 p. 100 de silicium.

$\mathcal{H}$	$\mathcal{B}$
0,90	2 220
1,98	7 420
3,98	11 200
7,75	13 900
35,5	16 600
48,2	17 100
87	18 100

La plus grande perméabilité est de 3 870, et correspond à une induction de 7 400 C.G.S.

2° Acier à 2,50 p. 100 d'aluminium.

$\mathcal{H}$	$\mathcal{B}$
1,27	2 410
3,28	7 220
6,71	10 950
22,2	15 000
83,9	17 200

Digitized by Google

La plus grande perméabilité est de 2 260, elle correspond à une induction de 6 000 C.G.S.

Hystérésis. — En ce qui concerne la perte d'énergie par hystérésis, on est ramené tout naturellement, par l'étude de la constitution de l'acier, à l'hypothèse du professeur Ewing.

On sait que le professeur Ewing a proposé de considérer les corps magnétiques comme formés d'une infinité de petits aimants moléculaires, qu'il attribue aux réactions mutuelles de ces petits aimants la perte d'énergie par hystérésis, et que d'ingénieuses dispositions expérimentales ont paru justifier sa manière de voir.

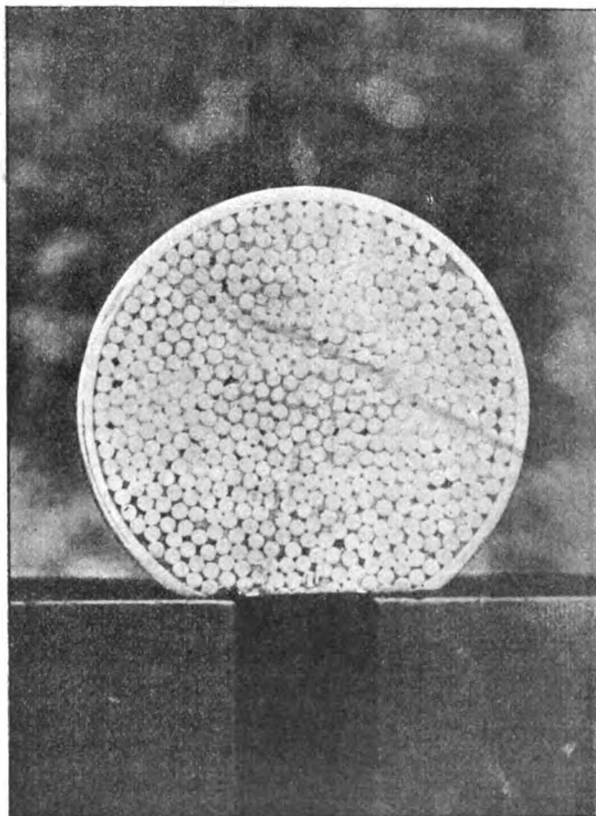


Fig. 8.

D'après ce qui a été dit plus haut, il est naturel de substituer aux aimants moléculaires hypothétiques d'Ewing les aimants élémentaires formés par les grains de ferrite. On a ainsi l'avantage de raisonner, non plus sur des molécules, mais sur des grains dont on peut constater directement l'existence et déterminer les dimensions et l'orientation.

Cette conception ne répond peut-être en aucune façon à la réalité, mais elle a l'avantage d'interpréter assez fidèlement les faits, et notamment l'influence de la trempe, de l'écrouissage et du recuit sur le coefficient d'hystérésis.

Le travail absorbé par les réactions mutuelles d'aimants élémentaires est naturellement fonction de leur nombre. On doit donc s'attendre à ce que les métaux à grains fins aient un coefficient d'hystérésis bien supérieur à celui des mêmes métaux amenés à présenter de gros grains par un recuit convenable. Or, c'est ce que l'expérience vérifie complètement. Le recuit qui améliore le plus les propriétés magnétiques des aciers est précisément celui qui développe le plus la cristallisation.

Nous avons vu, plus haut, que les phénomènes de cristallisation étaient accentués et régularisés par une addition de silicium à l'acier. Or, les aciers au silicium présentent de très faibles coefficients d'hystérésis.

L'écrouissage agit sur l'acier en brisant les grains et en les déformant ; il doit donc augmenter toujours notablement le coefficient d'hystérésis. On conçoit de plus qu'il produise une variation différente suivant l'orientation, la perte de travail n'étant pas la même selon que le champ magnétique est parallèle ou perpendiculaire aux grains allongés par l'écrouissage. On comprend enfin que les résultats obtenus aux différents points d'une même tôle, et suivant des orientations différentes, puissent présenter des différences notables, surtout si le recuit n'a pas été parfaitement uniforme, de sorte que certains points les bords par exemple, ont été chauffés plus ou moins longtemps que d'autres.

Pour vérifier indirectement cette hypothèse, nous avons constitué artificiellement un système qui représentât grossièrement la structure d'un acier écroui, en soudant à l'étain

Digitized by Google

un faisceau de fils de fer doux de 2 millimètres de diamètre. En découpant dans ce faisceau des sections plus ou moins inclinées sur l'axe on obtient des plaques formées soit de grains ronds réguliers, soit de grains plus ou moins allongés ou orientés dans une direction. Dans ces plaques on peut prélever des échantillons qui, portés sur l'hystérésimètre Blondel, par exemple, permettent de mesurer le coefficient d'hystérésis du système ainsi constitué.

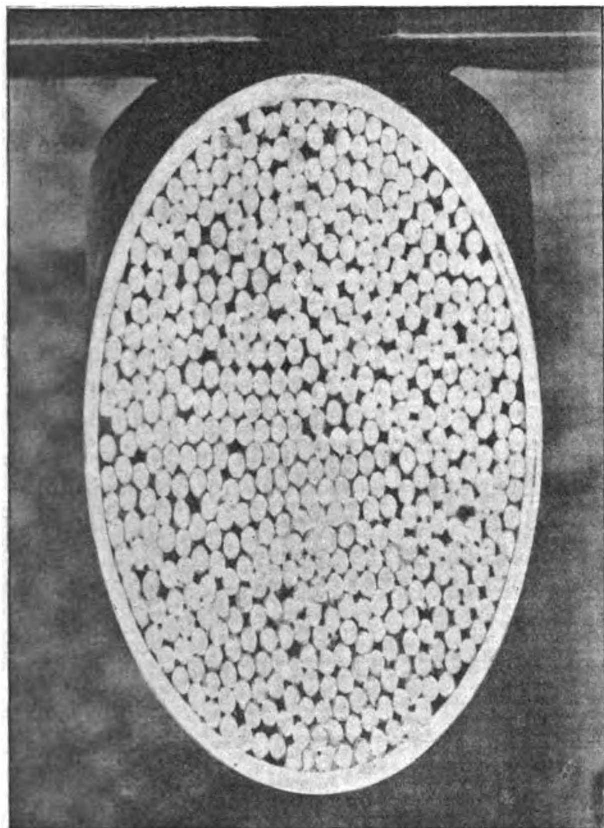


Fig. 9.

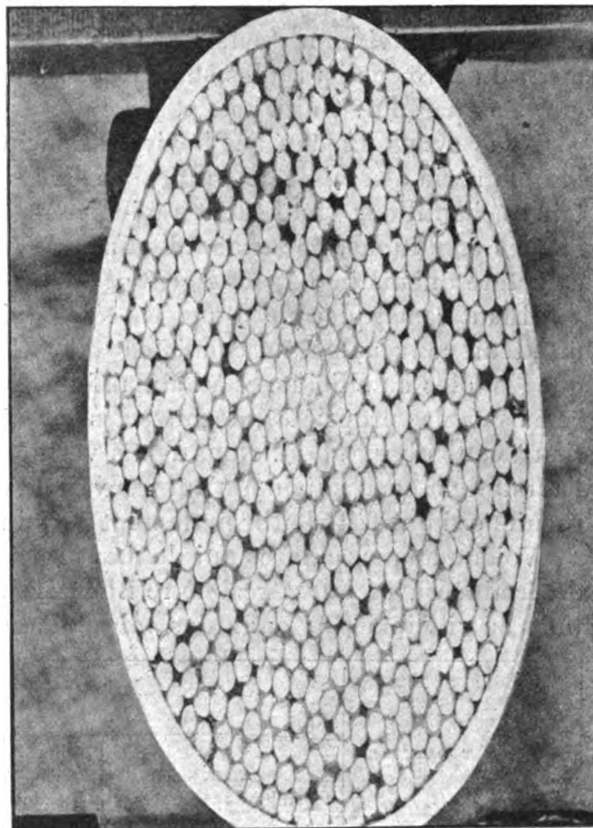


Fig. 10.

Les figures 8 à 10 reproduisent des sections ainsi préparées dans un faisceau de fil de fer. Sur ces sections, on a obtenu pour le coefficient d'hystérésis moyen.

$\eta = 0{,}00075$ pour la section droite.
$\eta = 0{,}00105$ — à 57°.
$\eta = 0{,}00140$ — à 39°.

Il est facile de voir, d'après la marche de l'appareil, que dans le dernier cas le coefficient d'hystérésis est très variable dans les divers plans.

Les considérations que l'on vient de développer semblent donc permettre de se rendre compte de la façon dont sont modifiées, par les circonstances qui peuvent se présenter dans la fabrication des aciers doux, la conductibilité électrique, la perméabilité et la perte par hystérésis. Mais elles ne donnent aucune interprétation d'un phénomènes de la plus haute importance au point de vue pratique, le vieillissement que présentent certains aciers doux au point de vue de la perte par hystérésis.

****

Digitized by Google

A défaut de théorie, on connait au moins les lois générales de ce phénomène qui n'est pas unique de son espèce, mais semble se rattacher aux phénomène de déplacement du zéro du thermomètre, et aux modifications étudiées par M. André Le Chatelier sous le nom de « recuit spontané des métaux » et par MM. Brillouin, Barus et Duhem, sous le nom de « variations séculaires ». On sait, en particulier, que ces faux équilibres qui se maintiennent très longtemps à la température ordinaire, sont détruits rapidement par chauffage, et mieux par une série d'échauffements et de refroidissements à partir de températures peu élevées. C'est le procédé suivi pour recuire les thermomètres dans lesquels on veut éviter le déplacement du zéro, et les règles suivant lesquelles il convient d'opérer ont été minutieusement étudiées par MM. Guillaume et Marchis.

Nous avons effectué sur le vieillissement des tôles par chauffage entre 100° et 200°, une longue série d'essais comparatifs sur divers échantillons. Il en ressort nettement que certains échantillons vieillissent rapidement, alors que d'autres, placés exactement dans les mêmes conditions, ne se modifient pas de façon appréciable. Nous n'avons observé aucun caractère qui distinguât nettement ces deux catégories.

Il faut remarquer aussi que les tôles qui vieillissent le plus présentent souvent, après un recuit convenable, un coefficient d'hystérésis particulièrement faible. Il était à craindre que les tôles au silicium et à l'aluminium, dont nous avons signalé à diverses reprises les remarquables propriétés, découvertes par MM. Barrett, Brown et Hadfield, ne donnassent lieu à cette observation. Nous avons vérifié qu'il n'en était rien ; différents échantillons à l'aluminium et au silicium n'ont pas varié d'une façon appréciable après une longue série de recuits qui ont fait vieillir nettement certaines tôles d'aciers doux,

Voici quelques chiffres qui donnent la valeur du coefficient η de la formule de Steinmetz déterminée avec l'hystérésimètre Blondel; sur des tôles d'acier extra-doux (A et B); des tôles au silicium (C); enfin des tôles à l'aluminium (D)

	ETAT NATUREL	APRÈS CHAUFFAGE			
		A 100° pendant 190 heures	A 200° pendant 150 heures.	A 250° pendant 1 heure.	A 500° pendant 1 heure.
A	17,5	17,4	18,1	17.8	16,4
	15,5	15,5	16,0	15,5	14,8
	23,0	22,9	23,4	23,0	22,1
B	10,8	25,2	13,5	12,3	11,2
	14,8	22,6	17,8	16,8	15,2
	14,5	29,5	18,2	16,8	14,5
C	10,5	11,2	12	12	11,8
D	8,7	9	9,2	9,2	10
	9,5	9,5	9,0	10,2	9.5

En résumé, pour les tôles d'acier doux ordinaire, il semble que les conditions à rechercher soient surtout une grande pureté et beaucoup de précision et de régularité dans le recuit. Les meilleurs résultats que l'on puisse obtenir avec ces métaux semblent souvent réalisés actuellement. On ne peut viser qu'un peu plus de régularité, et il semble même que lorsqu'on obtient des coefficients exceptionnellement bas, le phénomène du vieillissement apparait, et crée de nouvelles et très sérieuses difficultés.

Digitized by Google

Mais il y a lieu d'espérer beaucoup des aciers spéciaux qui ont à peine été étudiés et fournissent déjà des résultats remarquables.

Les aciers au silicium et à l'aluminium, étudiés par MM. Barrett, Brown et Halfield présentent une résistivité très élevée, une grande perméabilité, et un coefficient d'hystérésis très faible.

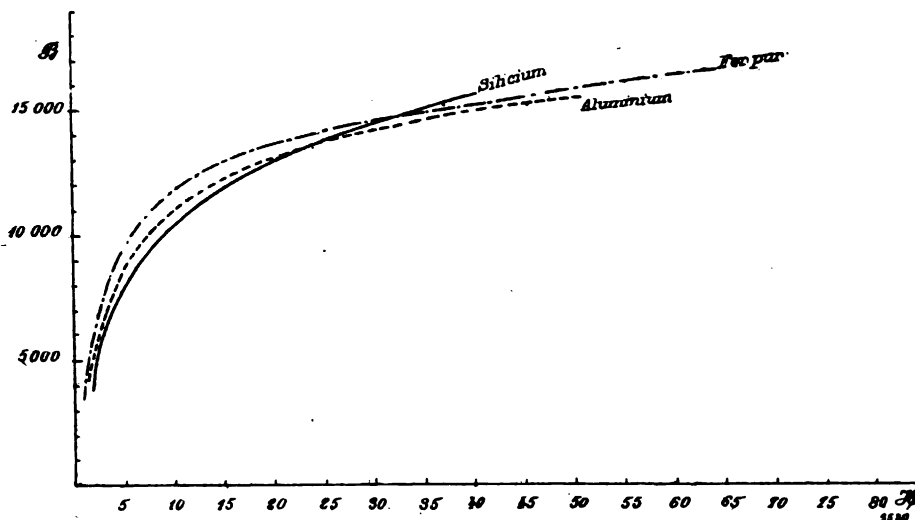


Fig. 11.

On pouvait craindre que les résultats excellents donnés par ces auteurs fussent dus à la qualité d'échantillons spécialement préparés pour expériences, et d'une pureté exceptionnelle.

Nous avons repris ces mesures en opérant sur des métaux préparés en grandes quantités et dans des conditions réellement industrielles. Nous avons opéré sur des tôles de un centimètre de large, réunies en paquets, en nous servant du perméamètre Picou ; nous avons étudié parallèlement la perméabilité de tôles en fer très pur. Nous avons trouvé les résultats que nous reproduisons ci-dessous, et qui nous ont permis de construire les courbes de perméabilité de la figure 11,

Tôles au silicium :

CHAMP $\mathcal{H}$ (EN C.G.S.)	INDUCTION $\mathcal{B}$ (EN C.G.S.)	PERMÉABILITÉ μ
1,80	3 950	2 200
2,40	5 050	2 100
4,40	7 300	1 660
7,50	9 300	1 240
11,80	11 000	930
16,20	12 250	755
22	13 300	605
34,8	15 000	430

Tôles à l'aluminium :

1,60	4 350	2 720
3,32	7 150	2 150
6,92	9 750	1 410
14,2	12 000	850
27,8	13 900	500
45	15 100	335

Digitized by Google

Les résultats de nos expériences ne sont pas comparables à ceux donnés par MM. Barrett, Brown et Hadfield, qui ont opéré sur des barreaux massifs, faits d'une seule pièce de métal, et par la méthode balistique.

Nous avons déterminé, pour ces mêmes tôles, le coefficient η de la formule de Steinmetz à l'aide de l'hystérésimètre Blondel. Nous avons trouvé :

TÔLES AU SILICIUM	TÔLES A L'ALUMINIUM
$\eta = 0{,}00120$	$\eta = 0{,}00118$
$\eta = 0{,}00121$	$\eta = 0{,}00117$

Les chiffres que nous donnons plus haut montrent que les tôles au silicium et à l'aluminium ont au moins dans les champs faibles une perméabilité nettement supérieure à celle que possèdent les meilleures tôles d'aciers doux, d'autre part leur coefficient d'hystérésis est très faible et n'augmente pas sensiblement par le vieillissement artificiel.

Pour ces raisons il nous semble que ces métaux sont appelés à un grand avenir au point de vue de leur emploi dans la construction des machines électriques.

G. Charpy.

Directeur des Forges de Saint-Jacques, Montluçon.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

DISTRIBUTION

Sur la solution graphique de quelques problèmes relatifs aux courants alternatifs, par **E. Orlich**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 59, 22 janvier 1903.

Rœsseler et Teichmüller ont depuis longtemps émis cette opinion, basée d'ailleurs sur les calculs de nombreux cas particuliers, qu'il y avait lieu de révoquer en doute les solutions de certains problèmes relatifs aux courants alternatifs, solutions obtenues par la méthode graphique. L'auteur se propose de traiter la question en se plaçant à un autre point de vue. Il considère un système triphasé et démontre que, même en généralisant la méthode graphique, il n'est pas possible d'arriver par ce moyen à des résultats exacts.

Dans tout ce qui va suivre, nous supposons seulement que :

1° Les vecteurs ont des longueurs égales aux valeurs efficaces;

2° Le polygone des vecteurs est toujours fermé.

Par exemple, si trois conducteurs traversés par des courants alternatifs dont les valeurs instantanées sont i_1, i_2, i_3, se coupent en un même point, on a $i_1 + i_2 + i_3 = 0$; donc, le polygone des vecteurs se fermera, c'est-à-dire que les courants seront représentés par un triangle dont les côtés sont égaux aux valeurs efficaces I_1, I_2, I_3. Soit α l'angle de I_2 et I_3, on a :

$$I_1^2 = I_2^2 + I_3^2 + 2 I_2 I_3 \cos(\pi - \alpha)$$

et identiquement $i_1^2 = i_2^2 + i_3^2 + 2\, i_2 i_3$.

Cette dernière égalité peut encore s'écrire :

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_1^2 dt = \frac{1}{T}\int_0^T i_2^2 dt + \frac{1}{T}\int_0^T i_3^2 dt + \frac{2}{T}\int_0^T i_2 i_3\, dt.$$

ou

$$I_1^2 = I_2^2 + I_3^2 + \frac{2}{T}\int_0^T i_2 i_3\, dt.$$

Il en résulte que

$$\cos(\pi - \alpha) = \frac{1}{I_2 I_3} \cdot \frac{1}{T}\int_0^T i_2 i_3\, dt$$

Nous désignerons cette grandeur sous le nom de facteur de décalage des deux courants et nous ferons remarquer que, dans le cas d'une courbe rigoureusement sinusoïdale, ce facteur est égal au cosinus de l'angle de déphasage des deux courants I_2 et I_3. Donc, deux courants al-

Digitized by Google

ternatifs, de forme quelconque, seront représentés par deux vecteurs de longueurs égales aux valeurs efficaces I_2 et I_3 et faisant entre eux un angle dont le cosinus est égal au facteur de décalage défini par la formule (1).

Soit un système triphasé avec montage en étoile et une courbe de tension quelconque. Le diagramme des tensions étoilées et des tensions composées ordinairement employé est inexact, qualitativement et quantitativement, parce qu'il laisse supposer, d'abord que la somme des tensions étoilées instantanées est nulle, ce qui n'est pas vrai en général; et qu'ensuite le rapport de la tension composée efficace à la tension étoilée efficace est égal à $\frac{\sqrt{3}}{1}$; en réalité, ce rapport est toujours inférieur à $\sqrt{3}$.

Mais si nous considérons les valeurs instantanées e_1, e_2 de deux tensions étoilées et la valeur instantanée e_{III} de la tension composée correspondante, on a toujours : $e_1 + e_2 + e_{III} = 0$; donc les valeurs efficaces correspondantes E_1, E_2, E_{III} forment un triangle dans lequel l'angle α de E_1 et E_2 est toujours plus petit que $120°$ [1].

En répétant le même raisonnement pour e_3, e_1, e_{II}, et e_2 e_{I3} e_I, on obtiendra trois triangles isocèles égaux entre eux. Avec ces trois triangles on peut construire une pyramide de sommet O dont la base est un triangle équilatéral constitué par les trois tensions efficaces composées; il doit bien en être ainsi, puisque la somme $e_I + e_{II} + e_{III}$ est nulle et que le calcul donne, pour le facteur de puissance relatif à deux vecteurs, $-\frac{1}{2}$;

d'où

$$\pi - \alpha = 120° \qquad \text{et} \qquad \alpha = \pi - 120° = 60°$$

La transformation du diagramme ordinaire en une pyramide est tout à fait exacte; elle permet de se rendre compte que la somme des trois tensions étoilées n'est pas nécessairement nulle et que le rapport $\frac{\text{tension efficace composée}}{\text{tension efficace étoilée}}$ est $\leqq \sqrt{3}$.

[1] On le démontrerait en développant e_1 et e_2 en séries de Fourier et en effectuant l'intégrale $\frac{1}{T}\int_0^T e_1 e_2 dt$. Le résultat étant toujours $< \frac{1}{2}$, on a $\cos(\pi - \alpha) < \frac{1}{2}$, ce qui exige que $\pi - \alpha > 60°$ ou $\alpha < \pi - 60°$ ou $< 120°$.

Si maintenant, ajoute l'auteur, on donne à la machine une charge symétrique formée de résistances groupées aussi en étoile, leur point « neutre fictif » sera représenté par le centre O_1 de la base de la pyramide. Il existe donc toujours, entre les centres des deux étoiles, une différence de potentiel égale ou proportionnelle à OO_1.

Y a-t-il lieu, d'après cela, de généraliser la méthode graphique en recourant aux constructions dans l'espace? Le calcul montre que nous nous heurtons ici à une impossibilité absolue; il serait trop long, et d'ailleurs sans intérêt, de traiter la question d'une manière générale; nous nous contenterons de faire ressortir cette impossibilité dans quelques cas particuliers.

Soit une génératrice quadriphasée; les forces électromotrices instantanées de deux phases consécutives peuvent être représentées par les séries de Fourier suivantes :

$$\left.\begin{aligned} e_1 &= \Sigma E_k \sin(k\omega t + \alpha_k) \\ e_2 &= \Sigma E_k \sin\left(k\omega t + \alpha_k + \frac{K\pi}{2}\right) \end{aligned}\right\} k = 1, 3, 5, 7, \ldots\ldots$$

Calculons le facteur de décalage en partant de la formule (1) et remarquant que $E_1 = E_2$

$$\cos(\pi - \alpha) = \frac{1}{E_1^2} \cdot \frac{1}{T}\int_0^T E_{12}^2 e_1 e_2 dt.$$
$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{E_1^2} \cdot \Sigma E_k^2 \cos\frac{K\pi}{2}$$

Comme k ne peut prendre que les valeurs 1, 3, 5, 7, $\cos\frac{k\pi}{2}$ est toujours nul; on en conclut $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Les deux forces électromotrices efficaces E_1 et E_2 seront donc représentées par deux vecteurs de longueurs égales et perpendiculaires entre eux. Le calcul répété sur e_3 et e_4 conduirait au même résultat; donc, graphiquement, le système quadriphasé pourra être représenté par deux sécantes perpendiculaires (une croix dont les quatre bras sont égaux).

Un système octophasé se décomposera en deux systèmes quadriphasés e_1, e_3, e_5, e_7 et e_2, e_4, e_8, e_3, qu'on pourra représenter par un système de deux croix. La représentation graphique du système octophasé s'obtiendra alors en faisant coïncider les deux centres et faisant tourner l'une des croix de telle sorte que les huit vecteurs soient répartis symétriquement autour du

Digitized by Google

centre commun; mais ceci n'est possible que si les 8 vecteurs sont situés dans un même plan, et que deux vecteurs consécutifs forment entre eux un angle de 45°. Calculons donc cet angle en partant du facteur de décalage.

$$e_1 = \Sigma E_k \sin (k\omega t + \alpha_k)$$
$$e_2 = \Sigma E_k \sin \left(k\omega t + \alpha_k + \frac{k\pi}{4}\right);$$

on en déduit que :

$$\frac{1}{T}\int_0^T e_1 e_2 dt = \frac{1}{2} \Sigma E_k^2 \cos \frac{k\pi}{4}.$$

ou

$$\cos (\pi - \alpha) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{E_1^2} \Sigma E_k^2 \cos \frac{k\pi}{4}$$

Or, k prenant toutes les valeurs impaires 1, 3, 5, 7, etc., on a : $\cos \frac{k\pi}{4} = +1$ ou -1; les termes de la suite $\sum E_k^2 \cos \frac{k\pi}{4}$ sont positifs ou négatifs, c'est-à-dire que

$$\Sigma E_k^2 \cos \frac{k\pi}{4} = E_1^2 - E_3^2 - E_5^2 + E_7^2 - E_{11}^2.$$

D'autre part :

$$E^2 = \frac{1}{2} (E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + \dots$$

$$\text{Cos } (\pi - \alpha) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{E_1^2 - E_3^2 - E_5^2 + E_7^2 - E_{11}^2}{E_1^2 + E_3^2 + E_5^2 + E_7^2 + \dots}$$

Le second membre est toujours inférieur à $\frac{\sqrt{2}}{2}$ en valeur absolue, il s'ensuit que $\pi - \alpha > 135°$ et $\alpha < 45°$. Il n'y a donc pas, dans ce cas, de solution graphique exacte et générale, même si on a recours aux constructions dans l'espace.

Comme conclusion, l'auteur indique une représentation graphique qui n'a sans doute pratiquement aucune importance, mais qui est susceptible de faire ressortir la nature d'un courant alternatif de forme quelconque. Un tel courant s'exprime, d'après Fourier, par une suite de termes tels que

$$i = \Sigma I_k \sin (k\omega t + \alpha) \qquad k = 1, 3, 5 \dots$$

Les sinusoïdes individuelles qui composent les termes de cette série peuvent, comme à l'ordinaire, être représentées par des vecteurs et ajoutées géométriquement. Soit t_0 un instant quelconque; nous voulons avoir la valeur instantanée i du courant à cette époque; à cette effet nous traçons une droite $OA_1 = I_1$ faisant avec OX un angle $\omega t_0 + \alpha$; puis une droite $A_1A_3 = I_3$ faisant avec ox un angle $3\omega t_0 + \alpha_3$; nous construisons de même A_3A_5, A_5A_7, etc. La droite OA_n représente la valeur instantanée de i à l'époque t_0 et l'angle de OA_n avec ox, la phase. Quand le temps varie, la droite OA_1 tourne autour de O avec une vitesse constante; A_1A_3 tourne avec une vitesse trois fois plus grande; A_1A_5 avec une vitesse cinq fois plus grande, etc. Le vecteur résultant OA_n tourne donc autour de O avec une vitesse variable et sa longueur est, à chaque instant, donnée par la relation :

$$OA_n^2 = \Sigma I_k^2 + 2 \Sigma I_k I_m \cos [(k - m) \omega t + \alpha_k - \alpha_m].$$

Considérons un deuxième courant

$$i = \Sigma I_k \sin (\omega k\omega t + \beta k)$$

et répétons la même construction que plus haut; on se rend facilement compte que l'angle A_nOB_n représente le décalage des deux courants. Comme ces vecteurs se déplacent avec des vitesses à chaque instant variables, le décalage défini ci-dessus oscille pendant une période autour d'une certaine valeur moyenne. Le développement mathématique de ces considérations offrirait de grandes difficultés.

T. P.

TRACTION

Métropolitain à voies glissantes, système G. Sautereau. *Revue Technique*, t. XXIV, p. 657-664, 10 octobre 1903.

Dans cet article l'auteur, commence par rappeler brièvement quelques points de l'histoire du métropolitain parisien, et critique quelques-unes des dispositions adoptées dans le projet en cours de réalisation.

Les critiques se rapportent d'une part au plan d'ensemble, d'autre part au mode de traction.

En ce qui concerne le plan d'ensemble, l'auteur considère qu'il eût été préférable de constituer les diverses lignes par des circuits fermés; c'est l'idée qui prédominait en 1860, alors qu'il était fortement question de la construction d'un embryon de métropolitain reliant les sous-sols des Halles centrales à la

Digitized by Google

gare du Nord ; c'est également l'idée qu'adoptait l'auteur dans le projet de réseau métropolitain à gabarit normal qu'il publiait en 1883, puis dans celui de métropolitain à gabarit réduit qu'il proposait en 1891 ([1]).

Dans ces projets, les croisements souterrains de lignes se trouvaient évités ; il y avait seulement contact des lignes en certains points et les gares desservant les points de contact se trouvaient être moins onéreuses comme construction et d'une bien plus grande facilité d'accès pour le public. En particulier la gare de l'Opéra, dont la construction exige des travaux de terrassement si importants et qui, dans le projet actuel, comporte trois étages, se composait dans le projet Sautereau, d'une unique salle située sous le refuge de la place de l'Opéra, à 4 mètres au plus au-dessous du sol, éclairée par des pavés de verre, ayant de nombreux dégagements et des galeries desservant l'Opéra et le Grand-Hôtel.

Est-il possible de modifier le réseau actuel du métropolitain pour constituer un anneau central desservant les grands boulevards de la Bastille à la place de la Concorde, et se fermant par le boulevard Saint-Germain ? L'auteur le pense ([1]).

Passant au mode de traction, M. Sautereau recommande la traction sur *patins glissants*, système Girard, qui a fait ses preuves à l'Exposition universelle de Paris de 1889, puis à celle d'Edimbourg.

Dans ce système les véhicules sont supportés par des *patins* rectangulaires, remplaçant les roues des wagons ordinaires, et qui reposent sur des rails de même largeur. Pendant la marche, une mince couche d'eau sous pression est interposée entre ces patins et les rails et détruit ainsi tout contact entre eux. La résis-

---

([1]) « J'étais d'accord, dit l'auteur à ce propos, avec l'éminent directeur des travaux de la ville de Paris de l'époque, M. Alphand, qui, dans son rapport de 1890, recommandait :

« Au point de vue de la conception de l'œuvre elle-
» même, la création d'un *anneau central* ou circuit
» fermé, où les trains puissent se mouvoir indéfiniment
» et sans se rencontrer, et duquel se détacheront des
» rayons projetés dans les directions principales et dont
» le nombre pourra être augmenté au fur et à mesure
» des besoins. »

» M. Alphand avait été, en outre, très frappé du succès du chemin de fer glissant sur patins hydrauliques, système Girard, qui avait fait ses preuves à l'Exposition universelle de 1889, et il était disposé à en faire l'essai sur les boulevards extérieurs, de la place Clichy à la Villette.

» Malheureusement, le rapport de M. Sauton fit écarter ces projets d'ensemble (*Nous avons dû, disait-il, écarter tous les projets à système*) pour en proposer un qui fut finalement écarté ; puis le distingué conseiller municipal, aujourd'hui député, M. Berthelot, fut chargé du Rapport sur un projet de Métropolitain, absolument urbain et municipal, avec cette préoccupation maîtresse que les grandes Compagnies de chemins de fer ne puissent jamais mettre la main sur le Métropolitain parisien.

» Mais on avait perdu vingt ans en discussions stériles : la fin du siècle approchait, les moyens de transport, absolument insuffisants lors de l'Exposition de 1889, allaient devenir lamentables pour celle de 1900 ; il fallait marcher vite ; Alphand n'était plus là pour guider le Conseil municipal de son expérience et faire prévaloir son autorité toujours respectée. Dès lors, tout plan d'ensemble disparaît ; chaque conseiller, jaloux de faire prévaloir les intérêts de son quartier, appuie naturellement les tracés qui peuvent le desservir le mieux, et l'on arrive à un enchevêtrement de lignes, dont l'exploitation deviendra impossible lorsque tout sera terminé, témoins les travaux absolument fantastiques entrepris à la place de l'Opéra, avec trois lignes superposées, dans lesquelles personne ne voudra plus s'aventurer. »

([1]) « On m'objectera, dit-il, que la ligne 3 est classée : Porte-Maillot à Ménilmontant, par la rue du Quatre-Septembre ; et la ligne 7 : Palais-Royal à place du Danube, par la rue Lafayette ; mais, si l'on considère que la grande masse des voyageurs viendra de la gare Saint-Lazare et que les trois quarts peut-être descendront à l'Opéra pour prendre des lignes divergentes, que par conséquent la station de l'Opéra est un point de descente obligé pour la masse des voyageurs qui suivront la ligne 3, qu'importe que cette ligne soit établie en voie continue ou en deux tronçons ?

» Quant à la ligne 7, il n'y a pas de doute qu'au lieu d'avoir son terminus au Palais-Royal, qui est un cul-de-sac, elle serait mieux combinée en épousant la rue de la Paix pour se terminer à la station des Tuileries, ce qui lui permettrait de se prolonger plus tard vers la gare du quai d'Orsay, le boulevard Saint-Germain, etc.

» L'Anneau central comprendrait trois autres grandes gares dans le genre de celle de l'Opéra : à la place de la République, à Saint-Germain-des-Prés et aux Invalides, où presque toutes les lignes divergentes viendraient se rattacher par des raccordements paraboliques.

» Ce ne serait là qu'une modification de détail que le Conseil municipal peut parfaitement approuver et faire approuver par le gouvernement sans qu'il en résulte aucun préjudice pour les quartiers desservis par les lignes déjà votées.

» Le Conseil le peut d'autant mieux qu'il vient de modifier complètement le tracé de la ligne 4 afin de respecter les scrupules de l'antique assemblée qui délibère sous la coupole de l'Institut.

» Alors le Métropolitain de Paris serait établi suivant un plan d'ensemble qui en assurerait l'exploitation facile et fructueuse. »

Digitized by Google

tance de traction est réduite alors à son minimum et ne dépasse pas 1 kg par tonne.

D'après M. Sautereau, ce système présente sur le système ordinaire de nombreux avantages à la fois pour la commodité d'exploitation et pour l'économie de l'énergie tractive [1]; de plus il annihile les chances de déraillement dont les conséquences sont si fort à redouter avec le des aubes disposées suivant un rayon déterminé, l'eau agit sur des aubes à rayon infini, c'est-à-dire rectiligne; aussi, le rendement sera de 70 à 75 p. 100.

Economie d'exploitation. — Pour se rendre compte de cette économie, absolument invraisemblable, il faut comparer un train rapide ordinaire avec un train glissant portant le même nombre de voyageurs et marchant à la même vitesse.

Soit un train du Nord portant 192 voyageurs et marchant à 80 km à l'heure :

Son poids sera :

1 locomotive en charge	42 300 kg	
1 tender —	34 600	154 700 kg
2 fourgons à bagages	13 000	
8 voitures de 1re classe	64 800	
192 voyageurs (à 70 kg)	13 440	19 240
Bagages	5 800	
Au total		173 940 kg

La résistance au roulement sera égale à 956,14 kg. Pour entraîner ce train à 22 m par seconde, la locomotive devra développer un travail utile de $956 \times 22 = 21\,032$ kilogrammètres ou 280 chevaux.

La consommation en charbon allouée par le Nord étant de 7 kg par kilomètre, la consommation par heure sera de $7 \times 80 = 560$ kg de charbon.

Un train glissant, portant le même nombre de voyageurs et marchant à la même vitesse, pèsera :

8 voitures de 1re classe	32 800 kg	
1 locomotrice de manœuvre . .	4 000	43 800 kg
2 fourgons à bagages.	7 000	
192 voyageurs et bagages		19 240
Soit seulement		63 040 kg

D'après expériences concluantes, la résistance au glissement n'atteint pas un demi-kilogramme par tonne de charge portée par le patin ; mais, en portant cette résistance à un kilogramme, le travail utile à produire sera de : $63 \times 22 = 1\,386$ kilogrammètres, ou 18 chevaux ; mais, comme la turbine utilise 70 p. 100 de la chute artificielle mise à sa disposition, l'eau de propulsion étant chargée à 10 kg de pression et sortant des propulseurs à la vitesse de 44 m par seconde, double de celle du train, le travail produit par les propulseurs sera : $\frac{18 \text{ chevaux} \times 100}{70}$, soit 26 chevaux.

De plus, les patins, supportant une charge moyenne de 1 450 kg, devront recevoir de l'eau à 2,6 kg de pression, ce qui, à raison de 1,14 litre par seconde, donnera pour les 44 patins un débit général de : $44 \times 1{,}14 = 50{,}16$ litres par seconde.

Cette eau de glissement, étant fournie par la conduite maîtresse chargée à 10 kg ou à 100 m de haut, représentera un travail de $50{,}16$ litres $\times 100 = 5\,016$ kilogrammètres, ou 67 chevaux.

Le rendement des pompes de compression étant de

---

[1] Les avantages du système Girard peuvent se résumer ainsi :

Pas de bruit, pas de fumée, pas de trépidations ni de mouvements de lacets, pas de déraillements possibles : en un mot : sécurité absolue, vitesse incomparable et économies considérables dans l'établissement et l'exploitation.

La puissance d'arrêt, mesurée au dynamomètre, a été trouvée égale à 520 kg par tonne de charge supportée par chaque patin, d'où la formule :

$$-W = 9{,}81 \times \frac{0{,}52 \times P}{P} = 5{,}10 \text{ m}$$

dans laquelle W représente l'accélération négative et P le poids du train.

Si donc on considère un train glissant marchant à la vitesse de 6 m par seconde, cette vitesse s'éteindra en $\frac{6}{5{,}1} = \frac{1''17}{100}$ et l'espace E, parcouru pendant l'arrêt, sera :

$$E = 6 \times 1{,}17 - \frac{5{,}10}{2} \times \overline{1{,}17}^2 = 3{,}50 \text{ m.}$$

A une vitesse de 8 m par seconde, qui était celle du train glissant de l'Exposition de 1889 et d'Edimbourg, le train s'arrêtait en 1″ 56/100, sur un espace de 6,20 m.

A 22 m par seconde (80 km à l'heure), le train s'arrêtera en 4″ 31/100 et sur 47,40 m.

A 33,33 m par seconde (130 km à l'heure) l'arrêt sera produit en 6″ 54/100 et sur 109 m.

Enfin à 55,55 m par seconde (200 km à l'heure), vitesse normale d'un train glissant, l'arrêt se produira en 10″ 89/100 et sur 302 m.

Malgré cela, l'arrêt est très doux parce que la charge, par cm² de patin est relativement légère, et il ne peut y avoir ni arrachement ni pénétration de la matière.

Il en résulte que la courbe de ralentissement, quoique tombant rapidement, est absolument régulière et sans « jarrets ». Il ne peut donc pas se produire de secousse.

Le Démarrage d'un train glissant à propulsion hydraulique actionné par une machine à vapeur qui fournit à l'eau de projection sa charge nécessaire, est d'autant plus rapide que le mécanicien a à sa disposition le supplément de force produit par la machine pendant l'arrêt du train. Il peut atteindre, sans secousse, et en 31″ la vitesse de 80 km à l'heure.

La Vitesse acquise par les trains glissants n'est autre chose que l'application des principes de la propulsion des turbines, sauf que les turbines ordinaires sont alimentées par des chutes d'eau naturelles, tandis que, dans le cas qui nous occupe, la compression de l'eau est produite par des pompes à vapeur, et qu'au lieu d'agir sur

système actuel ; enfin, en supprimant l'usure du matériel résultant de la faiblesse du rayon des courbes et de la brusquerie des arrêts, il supprime une cause de dépenses dont l'importance est actuellement des plus importantes.

Mais dans le système Girard, la force motrice était produite par de l'eau sous pression amenée par une conduite située entre les deux rails de glissement et venant frapper des aubes (analogues à celles des turbines) placées sous les véhicules. M. Sautereau, qui avait adopté ce mode de production de l'énergie motrice dans son projet de 1891, convient aujourd'hui qu'il présente de sérieux inconvénients en raison de la nécessité d'expulser dans les égouts une énorme quantité d'eau. Aussi propose-t-il maintenant le système de traction de M. Barre, avec troisième rail de roulement et poulies à gorge de grand diamètre, système que l'inventeur a spécialement étudié pour l'Exposition de 1900. Voici la description qu'il donne de ce mode de traction :

Entre les rails de glissement, que M. Barre avait même prévus en ciment armé se trouve un rail à patin, en acier coulé et très dur, dont le champignon a la forme d'un A tronqué, présentant un angle de 30° à 32°. C'est sur ce rail dit « de traction » que les poulies ou « roues flottantes » des locomotrices viennent se gripper comme sur un câble. Ces « roues flottantes », dont la jante a la forme d'un A tronqué qui vient coiffer le champignon du rail de traction, s'appuient librement sur lui par leur seul poids et ne gênent en aucune façon le glissement des patins.

Leur jante, composée de deux parties, est disposée de façon à pouvoir rattraper de temps à autre le jeu d'usure produit par le frottement sur le champignon du rail de traction.

Une roue flottante, d'un poids de 400 kg, peut donner un effort de traction d'environ 1 000 kg, et l'on peut placer sur la locomotrice 2 ou 4 roues flottantes qui permettront des démarrages aussi rapides et des accélérations de vitesse équivalentes à celles des trains à propulsion hydraulique. Grâce à une disposition ingénieuse, l'eau de glissement peut être ramassée par des racloirs en caoutchouc, et refoulée par de petites pompes, dans les réservoirs, pour servir indéfiniment et débarrasser la voie.

Ces « roues flottantes » peuvent être actionnées, soit par l'électricité, soit par l'air comprimé.

Dans le cas qui nous occupe, du Métropolitain de Paris, c'est aux courants électriques fournis par des câbles-trôlets qu'il faudrait avoir recours : d'abord parce que, l'effort de traction des patins glissants étant 80 p. 100 plus faible que celui des véhicules de roulement, la tension du courant pourrait être réduite de 800 ou 1 000 volts, à 200 ou 300 et ne présenterait plus aucun danger ; et ensuite, parce que toutes les installations électriques qui existent seraient maintenues et pourraient actionner au moins le double des lignes actuellement en exploitation.

Les rails de glissement en ciment armé, talochés mécaniquement pour obtenir une surface bien plane et bien lisse, présentent de grands avantages, comme économie d'abord, et comme facilité de glissement, sur les rails d'acier en **U** retourné. Entre les stations, ces rails ne s'usent pas, puisque les patins ne les touchent pas ; ils ne s'usent qu'à l'abord des stations, dans le sens de l'arrivée, lorsque les patins viennent frotter pour produire l'arrêt ; mais, cette usure est très lente, parce que les patins ont une grande sur-

---

90 p. 100, le travail total à fournir au train glissant sera de : $\frac{26 + 67 \times 100}{90} = 103$ chevaux.

Les machines motrices à faible vitesse et à condensation dépensant au maximum 1 kg de charbon par heure et par cheval, il en résulte que la dépense du chemin de fer glissant sera de 106 kg de charbon par heure, au lieu de 560 kg dépensés par la locomotive pour le même travail.

Soit une économie de 80 p. 100.

Les dépenses d'entretien et de réparation des chemins de fer glissants sont presque nulles ; ainsi, les patins du chemin de fer glissant qui ont été utilisés à l'Exposition de 1889, puis à Edimbourg, ont été soumis à 24 000 arrêts et leur usure était impossible à constater, même avec un instrument de précision.

En ce qui concerne les propulseurs et les robinets de commande, qui ont été ouverts et fermés 24 000 fois, ils ne présentaient non plus aucune trace d'usure.

Inutile de faire ressortir l'économie du graissage qui, dans les trains roulants, à vapeur ou électriques, entraîne à des dépenses importantes ; quant à l'usure des rails et des bandages de roues occasionnée au Métropolitain actuel par ses arrêts fréquents, sa vitesse et ses courbes très prononcées, on sait qu'elle est hors de proportion avec celle de nos grands chemins de fer et qu'elle menace de devenir une ruine pour l'exploitation.

Les frais de premier établissement d'un chemin de fer glissant peuvent enfin être évalués à 30 p. 100 de moins que ceux d'un chemin de fer à vapeur ou électrique.

Digitized by Google

face et que leur pression par centimètre carré sur le rail est très faible. On peut d'ailleurs, sans inconvénient, laisser les rails s'user de 20 mm. Pour faire disparaître cette usure il suffit de quelques heures. L'opération consiste à « piquer » le rail usé, à le charger de ciment et à promener dessus une talocheuse mécanique guidée par des supports en fer rond, scellés sur la voie et soigneusement nivelés.

« Ainsi, conclut M. G. Sautereau, serait résolu pour Paris, sans modifier l'infrastructure actuelle, un merveilleux système de transport en commun, qui pourrait servir de modèle pour l'avenir et donner entière satisfaction au public en même temps qu'aux intérêts financiers de la ville. »

TÉLÉGRAPHIE

Système Tesla de télégraphie sans fil syntone. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 608, 30 juillet 1903.

Le numéro du 28 mars du *Western Electrician* donne des renseignements sur un nouveau système de télégraphie sans fil syntone de Nicolas Tesla. On sait qu'un circuit vibratoire établi et accordé de façon à répondre à des vibrations d'une période donnée est toujours influencé plus ou moins par les harmoniques qui accompagnent la vibration principale. Si les oscillations sont de très haute fréquence, si les ondes sont très courtes comme celles que produisent les excitateurs de Hertz, le nombre des harmoniques actifs peut être élevé et on n'obtient qu'un avantage médiocre avec un accord de ce genre.

Tesla a cherché un moyen d'écarter ces influences secondaires qui agissent sur les récepteurs sensibles, même à de grandes distances. Et il a établi dans ce but un nouveau système d'appareils permettant l'utilisation simultanée d'un plus grand nombre de stations qui ne se troublent pas les unes les autres. La disposition employée consiste à produire au transmetteur deux ou plusieurs espèces d'impulsions ou de vibrations de longueurs d'onde différentes qui agissent sur un récepteur contenant également deux ou plusieurs circuits vibratoires. Chaque circuit, pris séparément, répond seulement aux vibrations d'une longueur d'onde déterminée et les appareils sont disposés de telle sorte que l'action simultanée des impulsions transmises est nécessaire au fonctionnement du récepteur.

Si, pour la mise en marche du récepteur, on utilise seulement deux séries d'impulsions ou d'ondes au lieu d'une seule comme on le faisait jusqu'alors, on obtient déjà, d'après Tesla, une protection suffisante contre les influences troublantes d'autres sources, pour pouvoir garantir une transmission des signes sûre et secrète.

Dans des cas exceptionnels, on peut même utiliser un plus grand nombre de vibrations différentes, et obtenir ainsi une protection pour ainsi dire absolue contre les influences étrangères.

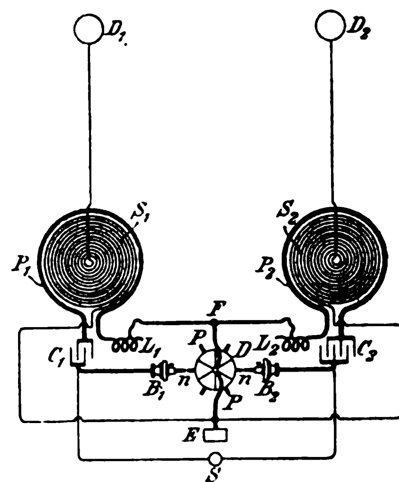


Fig. 1. — Poste transmetteur.

La sensibilité d'un récepteur aux signaux qui ne lui sont pas destinés peut être diminuée non-seulement par un accroissement du nombre de vibrations distinctes agissant ensemble, mais encore par un choix judicieux de ces vibrations et de la succession dans laquelle elles sont produites.

Les figures 1 et 2 représentent les schémas des appareils employés par Tesla aux stations transmettrice et réceptrice.

Dans la figure 1, S_1 et S_2 sont des fils enroulés en spirale reliés par leur extrémité intérieure à des antennes terminées par les capacités D_1 et D_2 ; leur extrémité extérieure est à la terre en E. Les 2 systèmes D_1S_1E et D_2S_2E ont des périodes vibratoires différentes, les centres de vibration étant en D_1 et D_2. Les vibrations électriques sont transmises à ces 2 systèmes secondaires par les bobines primaires P_1 et P_2

Digitized by Google

qui entourent les spirales. Des bobines de self variables L_1 et L_2 sont intercalées dans le circuit primaire et servent à régler les vibrations primaires.

Les bobines P_1 et P_2 sont montées en série avec les bobines L_1 et L_2, le conducteur F_1 les condensateurs C_1 et C_2, les porte-balais B_1 et B_2 et un disque denté D. Ce disque est relié d'un côté au conducteur F, de l'autre à la terre; et les deux circuits ainsi formés sont indépendants Les condensateurs C_1 et C_2 et les bobines L_1 et L_2 sont choisis et réglés de façon que chaque circuit primaire soit en résonance avec son circuit secondaire. Les condensateurs sont chargés par une source S à haut potentiel.

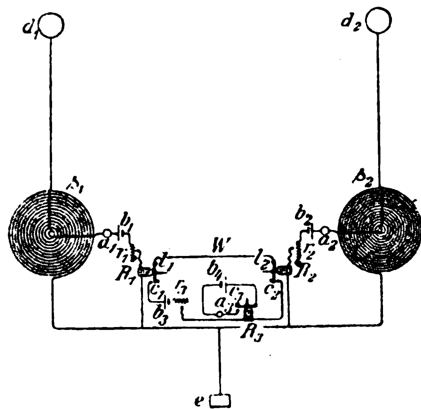


Fig. 2. — Poste récepteur.

Quand le disque D est mis en rotation, ses dents viennent périodiquement en contact avec les tiges *n* des porte-balais; et tant que la source S est en activité, des décharges des condensateurs se produisent ainsi en succession rapide dans les circuits vibratoires. Les 2 systèmes D_1S_1E, D_2S_2E vibrent chacun dans leur période propre à chaque décharge. Les porte-balais sont installés, par rapport aux dents P du disque, de façon que les décharges aient lieu simultanément dans les 2 circuits ou se succèdent si rapidement qu'au récepteur les actions des ondes soient simultanées ou presque simultanées.

Les vibrations expédiées ainsi simultanément parviennent à la station réceptrice où 2 systèmes semblables d_1s_1e, d_2s_2e sont disposés de la même manière qu'à la station transmettrice. Chacun d'eux est accordé sur le système correspondant du transmetteur, et répond exclusivement à l'une des deux vibrations envoyées par la station transmettrice. Parallèlement à chaque spirale réceptrice est monté un circuit local comprenant : un appareil sensible a_1, a_2 — un cohéreur par exemple — une batterie b_1, b_2, une résistance variable r_1 r_2 et un relais R_1 R_2. Les armatures l_1 l_2 des relais R_1 R_2 sont reliées par un fil W. Si les armatures sont attirées sous l'influence des ondes, elles établissent en c_1 c_2 des contacts qui ferment un circuit contenant une batterie b_3, un rhéostat r_3 et un relais R_3. Ce relais ne fonctionnera donc que si les contacts c_1 et c_2 sont établis simultanément, c'est-à-dire si les deux vibrations différentes provenant de la station transmettrice agissent simultanément à la station réceptrice. Finalement le relais R_3 met en action l'appareil enregistreur a_3.

On voit que si, au récepteur, parviennent des vibrations d'une seule espèce, correspondant à l'un des systèmes vibratoires, le relais R_3 n'est pas attiré, un seul des deux contacts c_1 ou c_2 étant établi ; l'établissement simultané de ces deux contacts est en effet la condition essentielle du fonctionnement de R_3.

D'une manière analogue, le fonctionnement du relais R_3 peut être rendu dépendant de trois ou de plusieurs espèces différentes de vibrations, au lieu de deux seulement, comme dans le cas particulier envisagé.

Télégraphie sans fil système de Forest. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 641, 13 août 1903.

Les cohéreurs ordinaires, qui mettent en action un relais et un appareil Morse, exigent un certain temps entre le moment où une série d'ondes atteint le système vibratoire, et le moment où le récepteur est prêt pour recevoir la série suivante. Cela tient au retard dû au décohérage des limailles par des moyens mécaniques, et aux constantes de temps élevées du circuit du relais. De ce fait, la rapidité de la transmission est toujours assez limitée.

Pour éviter cet inconvénient, de Forest, en collaboration avec E. H. Smythe, a imaginé, en remplacement du cohéreur ordinaire, un appareil prêt à chaque instant pour la réception des ondes électriques et qui, aussitôt après l'action des ondes, retourne instantanément et automatiquement à l'état normal. Les inventeurs ont nommé cet appareil « responder ». A l'inverse du cohéreur, le responder augmente de résistance sous l'influence des ondes électriques : l'accroissement de la résistance dans le circuit qu

renferme le responder et l'appareil récepteur est proportionnel à l'énergie des ondes reçues. Dès que l'influence des ondes a cessé, la résistance est diminuée et reprend sa valeur primitive, grâce à l'action d'un courant local.

D'après un article paru dans le n° 15 de *Electrical World and Engineer*, du 11 avril, les inventeurs se représentent comme suit le mode d'action de leur anticohéreur :

Quand deux électrodes métalliques voisines, dont l'intervalle est rempli par un milieu convenable, sont intercalées dans un circuit, de très petites parcelles métalliques sont détachées de l'anode sous l'influence du courant et portées vers la cathode à travers le milieu. Ces particules se joignent les unes aux autres et s'étendent sous forme de filaments qui constituent ainsi des ponts conducteurs entre l'anode et la cathode. Suivant la nature du milieu, le nombre de ces filaments est plus ou moins grand.

Si maintenant des ondes électriques se superposent au courant local, de très petites bulles de gaz sont libérées à la cathode, et, en se plaçant entre la cathode et les filaments, de même qu'entre chaque particule métallique et sa voisine, ces bulles de gaz augmentent considérablement la résistance de passage entre les électrodes. Le gaz libéré est de l'hydrogène provenant de l'eau décomposée, dont l'oxygène forme une combinaison avec le métal de l'anode à l'état naissant. Dès que les ondes n'agissent plus, il se produit, sous l'influence d'une matière convenable se trouvant dans le milieu, de l'oxyde de plomb par exemple, une dépolarisation qui absorbe les petites bulles d'hydrogène et rétablit les ponts conducteurs tels qu'ils étaient précédemment. Le responder devient inactif quand l'oxygène des matières dépolarisantes est épuisé, ce qui arrive au bout de quelques jours.

Appareil transmetteur. — Au lieu d'une bobine d'induction, de Forest emploie un transformateur alimenté par une machine à courants alternatifs. Le courant primaire, de 110 volts et 120 alternances, est porté dans l'enroulement secondaire à une tension de 25 000 volts. L'enroulement secondaire a ses extrémités aux pôles de l'étincelle (fig. 1), formés par les disques métalliques dont l'un est relié à l'antenne et l'autre à la terre. L'étincelle est shuntée d'autre part par un condensateur convenable. Les signes sont produits par établissement et interruption du courant primaire au moyen d'un interrupteur particulier qui fonctionne dans l'huile, en raison des hautes tensions employées. A la position de repos du manipulateur, l'antenne est reliée directement au récepteur.

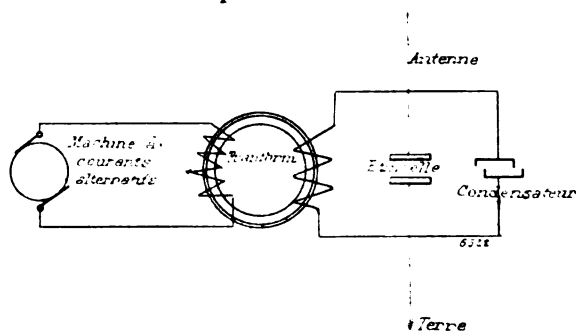
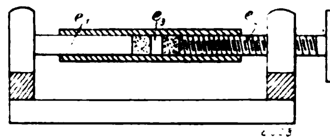


Fig. 1. — Dispositif transmetteur de Forest.

Dispositif récepteur. — Il se compose du responder ou anticohéreur, partie essentielle du système et de l'appareil récepteur proprement dit (téléphone ou relais). Le circuit local qui les comprend est relié à l'antenne, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un transformateur.

Le *responder* (fig. 2) se compose d'un petit tube d'ébonite ou de verre, dans lequel se trouvent 2 électrodes métalliques de 3,2 mm de


Fig. 2. — Responder ou anticohéreur de Forest.

diamètre ; entre ces électrodes principales est une électrode auxiliaire e_3 de même diamètre. Les surfaces opposées, polies ou non, sont écartées l'une de l'autre de 1,6 mm. Les intervalles entre les électrodes sont remplis d'une pâte particulière, formée de limailles assez grossières, mélangées à de l'oxyde de plomb, par parties égales, avec addition de glycérine ou de vaseline, et de quelques traces d'eau ou d'alcool. Une vis de réglage, fixée à l'une des électrodes, permet de faire varier la sensibilité de l'appareil.

Suivant les idées des inventeurs, les ponts de filaments métalliques produits dans l'anticohéreur par le courant normal, et leur interruption sous l'action des ondes électriques seraient représentés par les figures 3 et 4.

Digitized by Google

Le courant local doit avoir une valeur de 0,1 à 1 milliampère ; avec une batterie de 2 éléments, une résistance de 12 000 à 15 000 ohms est né-



Fig. 3 et 4. — Formation et rupture des ponts métalliques produits dans le responder.

cessaire pour donner à l'intensité la valeur convenable.

Avec le téléphone comme appareil récepteur, de Forest a donné au dispositif de réception 3 formes différentes :

1. L'antenne est reliée à la terre par l'anticohéreur, et, parallèlement à ce dernier, sont montés un écouteur et une pile (fig. 5). A l'état

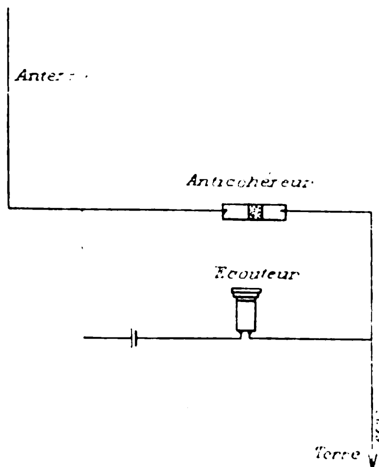


Fig. 5. — Premier dispositif récepteur de Forest.

normal, le courant de la pile ou des accumulateurs passe par le cohéreur et le téléphone ; la membrane de l'écouteur est constamment attirée. Si des ondes électriques parviennent à l'anticohéreur, sa résistance est accrue considérablement ; le courant de circuit local diminuant subitement, la membrane du téléphone est abandonnée brusquement, et l'instrument rend un son aigu. Quand l'action des ondes cesse, la résistance reprend sa valeur normale, la membrane est de nouveau attirée. Des ondes se succédant, comme elles sont expédiées par la station transmettrice pour la production de points ou de traits en alphabet Morse, produisent ainsi au récepteur une série de répulsions et d'attractions de la membrane qui donnent naissance, pour un point à un son de courte durée, pour un trait à un son prolongé.

2. Au lieu d'employer un seul anticohéreur, on peut en monter deux en série (fig. 6). Cette disposition permet l'emploi d'une force électro-

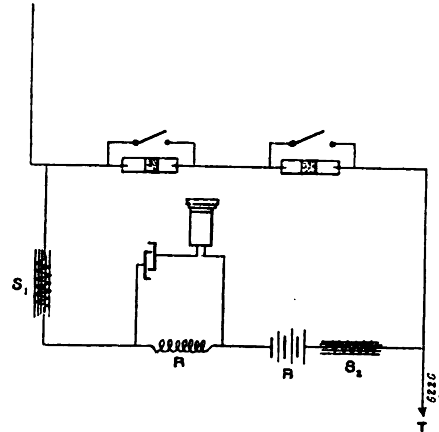


Fig. 6. — Deuxième dispositif récepteur de Forest.

motrice plus élevée. Dans le circuit local sont montées les bobines de self S_1 et S_2, ainsi qu'une résistance variable R permettant de régler la valeur de l'intensité. En parallèle avec la résistance R sont le téléphone et un condensateur.

Dans cette disposition, l'impédance des bobines empêche que les oscillations électriques produites dans le système récepteur atteignent et affaiblissent la batterie. Le son produit dans le téléphone est plus fort que dans les autres dispositions. En cas d'orage, les commutateurs qui shuntent les anticohéreurs permettent de relier directement l'antenne à la terre.

3. Le circuit local est en relation avec l'an-

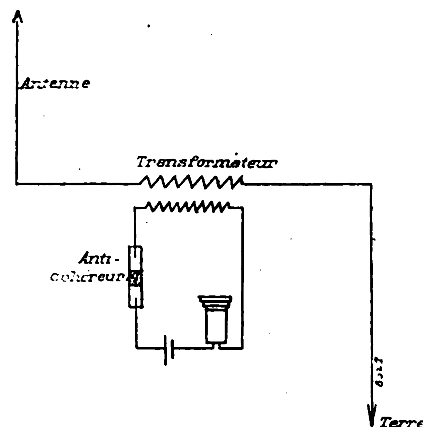


Fig. 7. — Troisième dispositif récepteur de Forest.

tenne par l'intermédiaire d'un transformateur (fig. 7). L'électricité atmosphérique peut ainsi s'écouler directement à la terre, sans influencer

Digitized by Google

le cohéreur. De plus, la tension des ondes peut être élevée par ce moyen, ce qui est avantageux pour leur action sur le cohéreur.

Au lieu d'un téléphone, on peut également employer dans ce système un relais mettant en action un appareil Morse. On a alors la disposition représentée en figure 8.

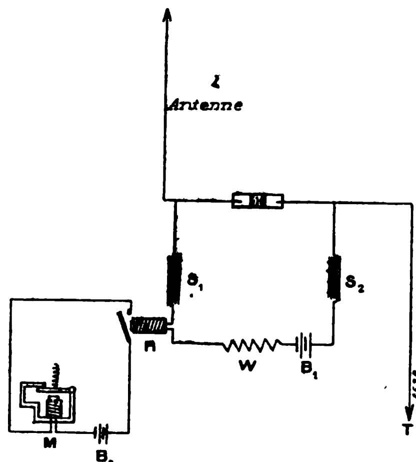


Fig. 8. — Dispositif récepteur de Forest sans téléphone.

Dans le circuit local, sont montés en série : le cohéreur, la batterie B_1, un relais R, 2 bobines inductives S_1 et S_2 et une résistance W. Seulement, étant donné le mode d'action particulier du récepteur, le relais doit être monté ici sur le courant de repos, de même que le circuit de l'appareil Morse. Lorsque, sous l'influence des ondes, la résistance du cohéreur est accrue, l'armature du relais R retombe et ouvre le circuit de l'appareil Morse ; si l'action des ondes cesse, l'armature du relais est de nouveau attirée et le circuit du Morse est de nouveau fermé.

Après d'assez nombreuses expériences qui ont démontré l'importance et la valeur pratique de l'invention, une société s'est formée en Amérique pour l'exploitation des brevets de Forest. Pendant les manœuvres dernières de la marine américaine, les appareils de Forest ont été employés concurremment avec d'autres systèmes. La rapidité de transmission qu'ils ont permise a été considérable ; et des communications parfaites ont été obtenues à plus de 100 km. Des dépêches, envoyées avec d'autres systèmes d'appareils, Fessenden et Marconi, par exemple, ont été reçues facilement. De même, une station établie sur Coney-Island, a pu envoyer des télégrammes jusqu'à 112 km au vapeur « Deutschland » muni d'appareils Marconi.

D'après *Electrical World and Engineer*, du 4 avril, la Compagnie de Forest fait établir à Buffalo, Cleveland et Detroit, des stations qui doivent utiliser une énergie de 10 kilowatts [1]. Des arrangements ont déjà dû être conclus avec les journaux de Cleveland et Detroit pour la transmission des nouvelles locales entre ces villes. A Chicago, sera également établie une station à longue portée qui, pendant l'Exposition de l'année prochaine, permettra de communiquer avec Saint-Louis. De même que les stations de Buffalo, Cleveland et Detroit dominent tout le lac Erié, la portée de la station de Chicago doit s'étendre sur tout le lac Michigan.

En ce moment, d'après une nouvelle de l'*Electrical Review*, du 13 juin, la Compagnie de Forest fait construire des machines pour une puissance de 150 kilowatts. Ces machines doivent être installées en Californie, à Honolulu, à Manille et à Hong-Kong, de façon à créer un service de nouvelles sur l'océan Pacifique. La Compagnie espère pouvoir inaugurer ce service dans un an et demi. Un grand nombre de stations côtières doivent également être établies dans le golfe du Mexique et en Amérique du Sud.

Avertisseur automatique d'incendie par télégraphie sans fil, système Guarini. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 700, 27 août 1903.

E. Guarini se sert de la télégraphie sans fil pour avertir à distance un poste de veille d'un incendie qui se déclare dans un local déterminé ou simplement d'un accroissement anormal de température pouvant devenir dangereux.

Les appareils employés dans ce but sont les suivants :

Dans le local A à protéger est suspendu un thermomètre à contact T (fig. 1) qui, pour une certaine température, ferme le circuit d'un relais R. Tant que ce relais est sans courant, son armature immobilise un mécanisme d'horlogerie qui sert à mettre en mouvement la roue à contacts K. Cette roue porte sur son pourtour une série de dents étroites et larges se succédant dans un ordre bien déterminé et qui, pendant la

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 4 juillet 1903. Litt. pér., p. x.

Digitized by Google

rotation de la roue, envoient, par des frotteurs convenables, des impulsions de courant courtes ou longues dans une bobine d'induction J. Le circuit secondaire de la bobine, avec l'antenne L, la mise à la terre E, l'éclateur F, expédie, à chaque impulsion du courant primaire, des oscillations électriques en séries courtes ou longues qui parviennent à l'appareil récepteur placé dans

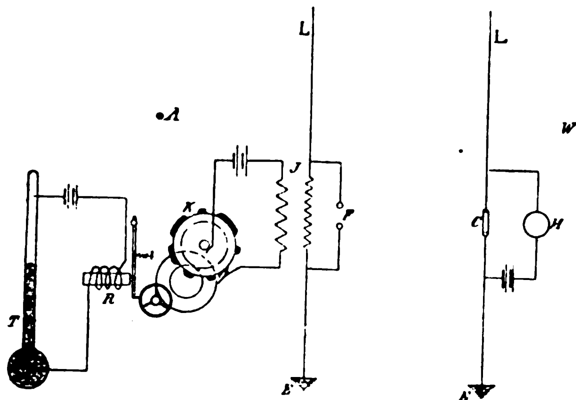


Fig. 1.

le poste de veille W. Le cohéreur C est impressionné et l'appareil Morse M inscrit à la manière ordinaire une série de points et de traits correspondant à la succession des dents étroites ou larges de la roue K, et indiquant au veilleur dans quelle maison ou à quel endroit se trouve le danger d'incendie.

Naturellement, plusieurs thermomètres analogues peuvent être placés dans les différentes parties d'un édifice et reliés à un appareil transmetteur commun. De même, les thermomètres peuvent être munis de plusieurs contacts qui correspondent à différentes élévations de température et envoient des signaux différents par des roues à contacts distinctes.

DIVERS

Influence de la « fenêtre » de Lenard sur les rayons cathodiques, par **Th. des Coudres**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 140-142, novembre 1902.

Les rayons cathodiques sont produits à l'aide d'un transformateur de Tesla dans une petite chambre en ébonite A (fig. 1). Cette chambre est percée d'une fenêtre de 2 mm de diamètre fermée par une feuille d'aluminium épaisse de 0,004 mm. Les rayons diffusés par cette fenêtre pénètrent dans une enceinte B qui renferme de l'hydrogène à la pression atmosphérique ou bien est vidée. A cette enceinte est fixée une boîte de cuivre C à parois épaisses, dont la section horizontale est un demi-cercle (le diamètre est 5 cm, la hauteur 3 cm). Cette boîte est aussi vidée par une seconde trompe. Les rayons de Lenard entrent dans cette boîte par une ou plusieurs ouvertures *b*, de 0,5 mm de diamètre, disposées sur l'axe géométrique du demi-cylindre : ces ouvertures sont fermées par des feuilles d'aluminium de différentes épaisseurs. Un diaphragme hémicylindrique, de 2,5 cm de rayon, concen-

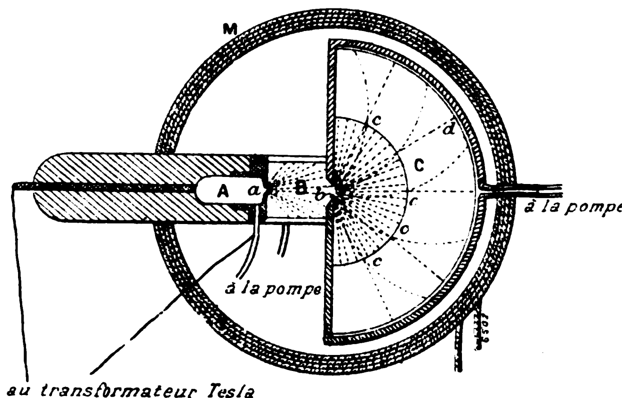


Fig. 1.

trique à la boîte C, porte une série de trous *c*, de 0,5 mm de diamètre. Ces trous délimitent des faisceaux sous diverses orientations : ces faisceaux viennent rencontrer une pellicule photographique recouvrant la paroi de la boîte C. Deux bobines M permettent d'établir à l'intérieur de C un champ magnétique à peu près uniforme, centré autour de *b*.

Sans champ magnétique, il suffisait de moins d'une minute pour obtenir des images assez intenses de *b* sur la pellicule. Avec le champ magnétique, cette durée de pose devait être augmentée : le faisceau était hétérogène et ses différentes parties inégalement déviées par le champ magnétique. Les images s'allongent dans le sens de la déviation : elles deviennent floues à l'extrémité la plus déviée, tout en restant nettes de l'autre côté.

L'intensité des rayons de Lenard émis par la fenêtre d'aluminium dans les différentes directions ne suit pas la loi du cosinus; mais décroît plus rapidement que le cosinus de l'angle du rayon avec la normale. Plus la feuille d'alumi-

Digitized by Google

nium qui recouvre la fenêtre est mince, plus les rayons peu écartés de la normale sont prépondérants ; il existe donc même à l'intérieur du métal une direction de propagation déterminée. Les rayons cathodiques, même les plus « rigides », éprouvent en traversant l'aluminium, une perte de vitesse : environ 10 p. 100 pour une épaisseur de métal de 0,01 mm.

Les rayons qui s'écartent le moins de la normale, sont moins déviés et par conséquent ont une vitesse plus grande que ceux qui sortent de la fenêtre sous une incidence oblique. Plus la feuills d'aluminium est mince, plus la différence est prononcée.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 12 octobre 1903.

Electrisation de contact et théorie des solutions colloïdales, par **Jean Perrin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 564-566.

« L'électrisation de contact que prend un corps plongé dans l'eau joue un rôle insuffisamment reconnu, et peut-être capital, en différents problèmes que les physico-chimistes et les biologistes s'accordent à considérer comme importants. Tel me paraît être le cas pour les teintures, pour les *entraînements de corps solubles* par certains précipités, et surtout pour les *solutions colloïdales*, auxquelles se rapporte la présente communication.

» Il est très probable, comme on sait, que toute solution colloïdale est formée de *granules*, invisibles au microscope, mais beaucoup plus gros que des molécules (car ils diffusent fortement la lumière), et chargés électriquement (car ils suivent ou remontent les lignes de force quand on les place dans un champ électrique).

» A ma connaissance, on n'a pas expliqué de façon satisfaisante : comment peut se former une telle suspension ; comment elle peut subsister *indéfiniment*, sans que les plus gros des granules s'accroissent aux dépens des plus petits, grâce au solvant interposé, jusqu'à réunion complète en une seule masse, ainsi que font dans un nuage les grosses gouttes aux dépens des petites ; comment il arrive parfois que ces granules grossissent ou décroissent réversiblement quand on change la composition du liquide où ils baignent ; comment enfin, si l'on dépasse certaines limites, une coagulation irréversible se produit, notamment sous l'influence d'ions polyvalents.

» Bref, il faut indiquer des causes qui assurent un équilibre *stable* pour un certain diamètre du granule. Dans ce but, je proposerai une théorie que résume la phrase suivante : *la tension superficielle et la cohésion favorisent l'accroissement d'un granule, mais l'électrisation de ce granule est une cause interne de dislocation, et l'on conçoit qu'il existe un diamètre pour lequel ces deux influences opposées s'équilibrent.* C'est ce que je vais tâcher de préciser.

» D'abord, il est raisonnable de supposer que la charge électrique des granules est due aux causes qui déterminent l'électrisation par contact d'une grande paroi, et de chercher à appliquer les lois trouvées pour ces parois. Je rappelle que j'ai signalé plusieurs de ces lois, et en particulier comment cette électrisation paraît due à la présence des ions H^+ ou OH^- et comment elle peut être beaucoup amoindrie par des traces d'ions polyvalents de signe opposé.

» Mais, dans le cas de très petites surfaces, la charge électrique n'est plus assimilable à une couche homogène, et on doit la regarder comme formée par un ou plusieurs centres distincts, valant chacun un électron (charge d'un ion monovalent), une plus petite quantité d'électricité n'étant pas réalisable.

» Imaginons alors qu'en une solution sursaturée, vis-à-vis d'une substance A, se trouve ou se forme un germe de cette substance. Ce germe, d'abord extrêmement petit, ne portera presque jamais de charge, et il grossira ; puis, au delà d'une certaine taille, il portera en moyenne un électron et nulle cause encore ne l'empêchera de grandir ; puis il portera deux

Digitized by Google

électrons, qui se repousseront et qui distendront le granule formé.

» Cette répulsion pourra être assez grande pour amener la *segmentation* du granule, après quoi chacun des deux granules grossira comme avait fait le granule primitif, puis se segmentera de nouveau, et ainsi de suite. *Ainsi font, dans la cellule vivante, les leucites, les chronomètres, le centrosome* (*et peut-être tout microsome*). On peut admettre que la segmentation se produira chaque fois que l'énergie électrique rendue disponible par cette segmentation sera supérieure à celle qui correspond, du fait de la cohésion, mais surtout du fait de la tension superficielle, à la réunion des deux fragments.

» Si la répulsion de deux électrons n'a pas suffi pour segmenter le granule, cette segmentation pourra se produire lorsque le granule, devenu plus gros, portera un plus grand nombre d'électrons. Toutefois, au delà d'une certaine taille, on n'aura plus le droit de négliger, comme j'ai fait ici, les électrons de signe opposé qui flottent dans le liquide ; le granule sera de plus en plus assimilable à un feuillet électrique fermé, et les actions électriques n'auront plus chance de l'emporter sur la tension superficielle (et la cohésion).

» Bref, si une substance prend au contact de l'eau une faible tension superficielle et une forte électrisation, l'état stable du système sera réalisé par une émulsion de granules de diamètre fixé, dispersés dans l'eau.

» Si l'on accroît l'électrisation de contact, on diminue la grosseur (moyenne) du grain qui correspond à l'équilibre stable ; si l'on diminue cette électrisation, on accroît cette grosseur ; si, enfin, on la diminue au-dessous d'une certaine valeur critique, la segmentation devient impossible.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Intensités lumineuses horizontale et sphérique moyennes, par **Alexander Russell**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, mai 1903. (1)

L'auteur présente dans ce mémoire quelques observations sur l'étalonnage des lampes électriques. Il n'a considéré la question qu'au point de vue mathématique.

Intensité moyenne horizontale. — Si d'une source lumineuse S on mène dans un plan des lignes rayonnant dans toutes les directions et qu'on prenne sur chaque ligne une longueur égale à l'intensité lumineuse dans cette direction, la somme de toutes ces longueurs, divisée par leur nombre, donne l'intensité moyenne dans le plan considéré. Quand l'axe de la lampe est vertical, l'intensité moyenne dans le plan horizontal s'appelle l'intensité moyenne horizontale. Bien des inventeurs ont essayé d'accroître l'intensité moyenne dans des plans particuliers au moyen de réflecteurs et de prismes, et certains croient même pouvoir augmenter par ces moyens la quantité totale de lumière émise par la lampe. Ils en donnent comme preuve qu'ils ont augmenté l'*aire* de la courbe d'intensité dans des plans particuliers. C'est bien réellement ce qui a lieu dans certains cas, mais il ne s'ensuit pas que l'intensité moyenne, dans ces plans, soit devenue plus grande. Il suffit, pour le voir, de se rappeler qu'en doublant l'intensité lumineuse de la source on peut quadrupler l'aire de la courbe d'intensité. Les exemples suivants vont montrer comment l'aire et la valeur moyenne du rayon de la courbe d'intensité peuvent varier dans certains cas.

Soit I la valeur moyenne des rayons $r_1, r_2, \ldots r_n$ menés à intervalles angulaires égaux dans un plan, on a :

$$I = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \ldots + r_n}{n}$$

$$= \frac{r_1\, d\theta + r_2\, d\theta + \ldots + r_n\, d\theta}{n\, d\theta} = \frac{\int_0^{2\pi} r\, d\theta}{2\pi}$$

Cela posé, on voit facilement que toutes les courbes de la famille $r = a + bf(\theta)$ où

$$\int_0^{2\pi} f(\theta)\, d\theta = 0,$$

correspond à une densité moyenne de valeur a.

Dans les exemples des figures 1 et 2, S est la source et son intensité moyenne reste la même, que la courbe d'intensité soit représentée par les cercles ou par les autres courbes.

Dans la figure 1, la courbe a pour équation :

$$r = a\,(1 + \sin\theta).$$

Dans la figure 2, l'équation est :

$$r = a\left(1 + \frac{1}{2}\sin\theta\right).$$

(1) Mémoire non présenté en séance.

Digitized by Google

Dans le premier cas, l'aire de la courbe est supérieure de 100 p. 100 et dans le second cas, de 25 p. 100 à celle du cercle.

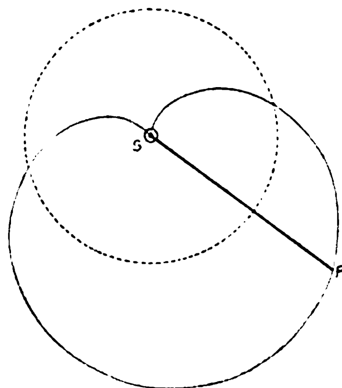


Fig. 1. — S est la source de lumière, SP l'intensité lumineuse dans la direction SP. L'intensité moyenne dans le plan de la feuille est égale au rayon du cercle pointillé.

Construction graphique. — Etant donné le diagramme polaire de l'intensité lumineuse, une construction tout indiquée pour trouver l'intensité moyenne consiste à tracer une seconde courbe polaire telle que :

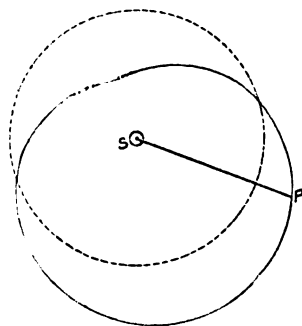


Fig. 2. — S est la source de lumière, SP l'intensité lumineuse dans la direction SP. L'intensité moyenne dans le plan de la feuille est égale au rayon du cercle pointillé.

$$r_1 = r^{\frac{1}{2}}$$

L'expression de l'intensité moyenne, I_m, dans un plan donné, est :

$$I_m = \frac{\int_0^{2\pi} r\,d\theta}{2\pi} = \frac{\frac{1}{2}\int_0^{2\pi} r_1^2\,d\theta}{\pi}$$

$$= \frac{\text{aire de la nouvelle courbe}}{\pi}$$

On n'accorde pas assez d'attention à la façon extraordinaire, dont varie, avec la direction, l'intensité lumineuse horizontale d'une lampe à incandescence. La mesure de cette intensité, prise à des intervalles d'environ 5° dans le plan horizontal, a donné les résultats représentés dans la figure 3. Les variations brusques de l'intensité sont dues à ce que la partie postérieure de l'ampoule agit comme un miroir concave et concentre la lumière sur l'écran photométrique. On a constaté, au moyen d'une ampoule coupée en deux, qu'il ne se produit aucun effet de réfraction.



Fig. 3. — Variations de l'intensité lumineuse d'une lampe à incandescense dans le plan horizontal de 5° en 5°.

Quand on emploie les lampes à incandescence comme étalons secondaires ; il faut d'abord connaître leur courbe d'intensité moyenne horizontale. Si l'intensité n'est pas suffisamment constante pour une variation de 10° de part et d'autre d'une position donnée, la lampe ne convient pas comme étalon.

Méthodes rapides pour déterminer l'intensité moyenne horizontale. — Dans le procédé qui consiste à faire tourner la lampe sur son axe, la force centrifuge, en déplaçant les filaments, altère la valeur de l'intensité moyenne hémisphérique ; elle cause aussi quelquefois la rupture du filament. La méthode est cependant bonne pour des mesures approximatives.

Une autre consiste à employer quatre miroirs plans semblables, découpés dans une même lame. On place derrière la lampe étalon et der-

Digitized by Google

rière la lampe en essai deux de ces miroirs inclinés à 120° l'un par rapport à l'autre. Si l'intensité de la lampe en essai est à peu près la même que celle de la lampe étalon et si l'on connaît exactement l'intensité moyenne horizontale de celle-ci, on remplace ainsi trois observations par une seule, qui en donne approximativement la moyenne.

Intensité moyenne sphérique. — Si de la source lumineuse on mène des lignes dans toutes les directions, en prenant sur chacune d'elles une longueur proportionnelle à l'intensité lumineuse dans cette direction, la valeur moyenne de toutes ces longueurs est l'intensité moyenne sphérique. Soient $r_1, r_2 \ldots . r_n$ les valeurs de l'intensité dans les diverses directions, I_{ms} l'intensité moyenne sphérique :

$$I_{ms} = \frac{r_1 + r_2 + \ldots . . + r_n}{n} = \frac{\Sigma r d\omega}{4\pi},$$

$d\omega$ désignant un angle solide très petit. Si l'on construit une nouvelle surface telle que $r_1 = r\,1/3$, on aura :

$$I_{ms} = \frac{\Sigma r_1^3\, d\omega}{4\pi} = \frac{3\,\Sigma dV}{4\pi} = \frac{3V}{4\pi},$$

V étant le volume de cette nouvelle surface.

On voit que le problème ainsi posé dans toute sa généralité est compliqué à résoudre. Mais on

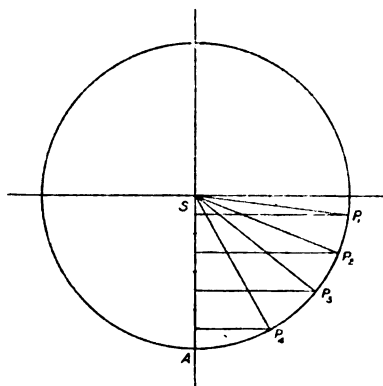


Fig. 4.

peut généralement admettre en pratique que les extrémités de tous les rayons représentant les intensités sont situées sur une surface de révolution et, dans ce cas, l'intensité moyenne sphérique peut s'obtenir par des méthodes graphiques fort simples. L'auteur recommande en particulier la suivante :

De la source S comme centre, décrivons une sphère de rayon R (fig. 4). Divisons le diamètre vertical de cette sphère en un certain nombre de parties égales et faisons passer par les points de division des plans perpendiculaires à ce diamètre. Ces plans découperont sur la sphère des zones d'aire égale (l'aire d'une zone est en effet $2\pi R h$, h étant la distance entre les deux plans qui la limitent). Si l'on prend maintenant la moyenne des valeurs de l'intensité dans les directions de tous les rayons aboutissant à l'une de ces zones et qu'on fasse de même pour les autres zones, la moyenne de toutes ces valeurs sera l'intensité moyenne sphérique. Dans le cas d'une surface de révolution, si $R = n\,h$, on a :

$$I_{ms} = \frac{r_1 + r_2 + \ldots . . + r_{2n}}{2n} = \frac{r_1 h + r_2 h + \ldots}{2R} = \frac{\Sigma r h}{2R}$$

Or $h = R\, d\theta \cos\theta$, donne :

$$I_{ms} = \frac{1}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} r \cos\theta\, d\theta = \frac{1}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} x\, d\theta.$$

Telle est la formule simple dont on se servira.

Par exemple, les équations des courbes des figures 1 et 2 sont de la forme :

$$r = a + b \sin\theta\,;$$

donc l'intensité moyenne sphérique, pour les surfaces de révolution dont elles représentent des sections est

$$I_{ms} = \frac{1}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} (a + b \sin\theta) \cos\theta\, d\theta = a.$$

Intensité moyenne hémisphérique. — Si l'on prend la valeur moyenne de l'intensité pour un hémisphère seulement, la formule devient :

$$I_{mh} = \int_0^{+\frac{\pi}{2}} x\, d\theta.$$

Par exemple, dans le cas des figures 1 et 2, on a pour l'hémisphère supérieur :

$$I_{mh} = a - \frac{1}{2} b.$$

et pour l'hémisphère inférieur :

$$I_{mh} = a + \frac{1}{2} b.$$

Digitized by Google

Méthode rapide pour déterminer l'intensité moyenne sphérique. — L'auteur recommande une méthode pratique qu'il expose par l'exemple suivant. On divise en huit zones égales une sphère décrite autour de la source comme centre (fig. 4). Par les milieux des segments égaux ainsi déterminés sur le rayon, on mène des perpendiculaires rencontrant la surface aux points P_1, P_2, P_3, P_4, et l'on fait de même pour l'hémisphère supérieur. On peut supposer que les intensités dans les directions SP_1, SP_2, etc., sont toutes de même intérêt. Alors

$$I_{ms} = \frac{r_1 + r_2 + \ldots\ldots + r_8}{8},$$

$r_1, r_2 \ldots, r_3$, étant les valeurs de l'intensité dans les directions $SP_1, SP_2 \ldots\ldots$ L'intensité moyenne hémisphérique, pour l'hémisphère inférieur, serait donnée par la formule approchée :

$$I_{mh} = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + r_4}{4}.$$

Si l'on se fixe une fois pour toutes les directions SP_1, SP_2, en déterminant leurs angles avec le plan horizontal, l'intensité moyenne sphérique peut s'obtenir directement sans construction graphique. Supposons que le rayon inférieur soit divisé en 2^r segments, les angles sont donnés par les équations :

$$\operatorname{Cos} \theta_1 = 1 - \frac{1}{2n}$$

$$\operatorname{Cos} \theta_2 = 1 - \frac{3}{2n}$$

$$\operatorname{Cos} \theta_n = 1 - \frac{2n-1}{2n} = \frac{1}{2n}.$$

Si l'on mène des rayons faisant des angles $\pm \theta_m$ avec le plan horizontal et si I_m et I'_m sont les valeurs de l'intensité dans ces directions, on a

$$I_{ms} = \frac{I_1 + I_2 + \ldots + I_1' + I_1' + \ldots}{2n}$$

$$\text{(Hémisphère supérieur)}\ I_{mh} = \frac{I_1 + I_2 + \ldots}{n}$$

$$\text{(Hémisphère inférieur)}\ I'_{mh} = \frac{I_1' + I_2' + \ldots}{n}$$

Le tableau suivant donne les valeurs de $\theta_1, \theta_2 \ldots$ correspondant à un nombre de mesures égal à 2, 4, 6, 8, 10 ou 20 :

NOMBRE DE MESURES	ANGLES DE PART OU D'AUTRE DU PLAN HORIZONTAL, EN DEGRÉS									
2	30									
4	14,5	48,6								
6	9,6	30	56,4							
8	7,2	22	38,7	61						
10	5,7	17,5	30	44,4	64,2					
20	2,9	8,6	14,5	20,5	26,7	33,4	40,5	48,6	58,2	71,8

En mesurant les intensités lumineuses dans ces directions et en prenant la moyenne arithmétique des résultats obtenus, on déterminera ainsi, avec autant d'exactitude qu'on voudra, l'intensité moyenne sphérique. P. L.

SECTION DE LONDRES

Séance du 7 mai 1903

Applications de l'électricité dans les usines et les chantiers maritimes, par **A.-D. Williamson**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 759-94, août 1903.

Ce sujet ayant été bien souvent traité déjà, l'auteur, pour éviter des répétitions, se renferme dans le champ de son expérience personnelle. L'installation électrique qu'il décrit est celle des usines de MM. Vickers, Sons et Maxim L[d] ; sa puissance totale, tant en génératrices qu'en moteurs, s'élève à 22 500 chevaux effectifs.

Depuis 1896, les établissements industriels de MM. Vickers se sont considérablement développés, partie par l'agrandissement des usines de Sheffield, partie par l'acquisition du chantier naval de Barrow-in-Furness et de la manufacture d'armes à feu d'Erith. Les essais de commande électrique ayant donné d'excellents résultats, il fut décidé d'appliquer ce système à tous les nouveaux ateliers et de supprimer peu à peu les machines à vapeur isolées. Il y a actuellement :

Aux usines de Sheffield, trois stations électriques, d'une puissance totale de 2 800 kilowatts. Station du Nord, 640 kilowatts. Station du Sud, 1 325 kilowatts. Station de l'Ouest, 750 kilowatts.

A la manufacture d'Erith, une station de 600 kilowatts.

Digitized by Google

A Barrow, deux stations, celle du chantier naval (750 kilowatts) et celle de l'atelier de machines (2 000 kilowatts).

Dans ces six stations, toutes les génératrices sont des dynamos à courant continu, excitées en dérivation, donnant une tension de 220 volts. La plupart ont été fournies par la British Thomson-Houston Company. Leur puissance s'échelonne entre 150 et 500 kilowatts.

La Compagnie possède encore trois autres établissements utilisant la commande électrique ; ce sont :

Ateliers du North-Kent, 180 chevaux; 220 volts.

Ateliers de construction d'outils et d'automobiles Wolseley, 350 chevaux ; 220 volts.

Compagnie d'appareillage pour l'électricité et l'artillerie, 560 chevaux ; 110 volts.

Pourquoi l'on a adopté la tension de 220 volts. — En 1895, lorsqu'on eût à choisir la tension de distribution, celle de 220 volts représentait un progrès, car les lampes à incandescence fonctionnant à cette tension, n'étaient que depuis peu en usage. Mais l'auteur croit qu'il eût mieux valu adopter la tension de 440 volts avec une canalisation à trois fils. Dans une installation ainsi conçue, les moteurs de plus de cinq chevaux, ainsi que les moteurs des appareils de levage et tous ceux dont la charge est intermittente seraient branchés sur les câbles extérieurs à 440 volts, tandis que les petits moteurs à charge constante ainsi que les lampes à incandescence et à arc seraient reliés au fil neutre et à l'un des fils extrêmes.

Ce système conviendrait bien à de grands établissements comme ceux de Shieffield et de Barrow, où le réseau de distribution est fort étendu, et il aurait l'avantage de donner aux moteurs à vitesse variable, une élasticité deux fois plus grande que celle qu'on obtient avec le réseau à deux fils.

On a préféré l'excitation en dérivation à l'excitation compound ; l'auteur a constaté qu'elle donne toute satisfaction quand l'installation génératrice est assez importante ; la tension aux bornes des lampes est absolument fixe. Ce système simplifie légèrement l'appareillage.

Si l'on avait à refaire tous les travaux, connaissant dès le début la valeur de la puissance totale à installer, il est probable que les seules modifications apportées seraient l'élévation de la tension à 440 volts avec une distribution à trois fils et l'emploi de groupes électrogènes plus puissants (750 ou 1 000 kilowatts). Dans les stations d'éclairage, il est bon d'avoir des machines de puissances différentes, mais pour les distributions de force motrice dans de grandes usines, la charge étant sensiblement constante et de durée connue, il vaut bien mieux n'installer que des groupes semblables et se munir de toutes les pièces de rechange nécessaires. La puissance du matériel de secours peut être fixée aux 20 p. 100 de la puissance totale.

Dépenses d'exploitation. — Les chiffres de dépenses, rapportés ci-dessous, ne sont pas les plus bas parmi ceux qu'on a publiés récemment, mais leur intérêt vient de ce que, ayant été extraits des livres de la comptabilité, ils représentent réellement les résultats du service courant et non ceux d'un essai effectué dans des conditions exceptionnelles.

STATION GÉNÉRATRICE	PUISSANCE actuelle en kw.	DÉBIT ANNUEL en kw. : h.	PRIX du combustible par tonne.	DÉPENSES d'exploitation par kw. : h.	DÉPENSES totales par kw. : h.
			fr.	fr.	fr.
a. Sheffield, Nord	640	2 106 340	12,10	0,0579	0,0716
b. Sheffield, Sud	1 325	2 610 620	9,60	0,0469	0,0675
c. Sheffield, Ouest	750	Les chiffres ne sont pas encore établis.			
d. Erith	600	1 430 500	25 »	0,11	
e. Barrow, chantier naval	750	644 500	21,20	0,13	
f. » ateliers de machines	2 000	3 504 435	14,50	0,077	0,097

Débit total (y compris les établissements de moindre importance) : 11 000 000 de kilowatts-heure par an.

a) Pleine charge.
b) Charge partielle ; la puissance disponible pendant la durée de l'essai n'était que de 975 kilowatts.
d) Les chaudières de cette installation fournissent aussi la vapeur nécessaire aux pompes de tout l'établissement.
e) Charge partielle. En outre, les chaudières alimentent aussi une installation hydraulique.
f) Pendant la durée de l'essai, la puissance disponible n'était que de 1 500 kilowatts.

Digitized by Google

Les capitaux immobilisés dans les bâtiments et le matériel se répartissent de la manière suivante :

Sheffield, Nord	512,50 fr. par kilowatt
Sheffield, Sud	645 »
Erith	562,50 »
Barrow, chantier naval	604 »
Barrow, ateliers de machines	662,50 »

Ce sont les établissements de Sheffield qui ont la charge la plus avantageuse, ne s'interrompant ni jour ni nuit (charge de jour, 5 150 ampères ; charge de nuit, 4 500 ampères) ; les travaux qui s'y effectuent, fonte de l'acier, fabrique de plaques de blindage et de canons, doivent en effet être conduits sans arrêt. Les autres établissements font moins de travail de nuit.

Réseau de distribution. — Presque tous les câbles de transmission sont aériens ; les isolateurs sont fixés soit à des poteaux, soit aux bâtiments. Les câbles sont protégés par une légère isolation. Quelques-uns, mais fort peu, sont souterrains.

Moteurs. — Un certain nombre de moteurs à induit lisse installés il y a sept ans sont encore en usage, mais beaucoup ont été remplacés par des moteurs du type tramway, dont la robustesse est pour une bonne part dans le succès de la commande électrique. On s'est efforcé, dès le début, de restreindre le nombre des puissances et des types différents, pour assurer l'interchangeabilité des induits. C'est ainsi qu'on commandait à la fois vingt ou trente moteurs de dix chevaux, avec un induit de rechange s'adaptant à l'un quelconque d'entre eux. La table suivante est la liste des types de moteurs et de leurs vitesses :

PUISSANCE EFFECTIVE	TYPE	VITESSE EN $t.:m.$
1	Demi enfermé	1 200
2,5	»	800
5	»	600
5	Enfermé	600
5	Demi enfermé	Variable, 300 à 900
10	»	600
10	Enfermé	600
10	Demi enfermé	Variable, 300 à 900
15	»	600
20	»	600
25	»	600
25	»	Variable, 300 à 900
30	»	500
40	»	500
50	»	500
75	»	400

Presque toutes les applications exigeant une forte réduction de la vitesse du moteur, on a recherché les vitesses faibles.

Il n'y a pas de règle générale déterminant à partir de quelle puissance il convient d'actionner l'outil par un moteur individuel. On avait décidé d'abord que les plus petits moteurs individuels seraient de cinq chevaux, mais, dans bien des cas, on a trouvé avantage à installer un moteur de deux ou trois chevaux sur un outil à travail intermittent [1].

[1] L'emploi des moteurs individuels, rendant les outils indépendants, permet de les placer commodément ; supprimant les courroies qui encombraient la partie supérieure de l'atelier, il facilite la manœuvre des ponts roulants. En ce qui concerne le rendement réel pendant la marche, il y a peu de différence entre la commande par groupes et la commande par moteurs individuels, quoique ce dernier système soit un peu plus avantageux. Considérons, pour un ensemble de dix tours, trois modes de commande différents :

1° Un moteur de 40 chevaux attaquant un arbre de 33 m de long.

2° Dix moteurs de 5 chevaux, à vitesse constante, avec cônes pour la variation de vitesse. Commande par courroies.

3° Dix moteurs de 5 chevaux à vitesse variable montés sur les poupées ; pas de courroies.

La table suivante donne pour ces trois cas les frais de premier établissement et les pertes *à pleine charge :*

	DÉPENSES d'installation des commandes.	PERTES dans les arbres et les courroies (chevaux électriques).	PERTES dans les moteurs (chevaux électriques).	PERTES totales (chevaux effectifs).
	FR.			
1). 1 moteur de 40 chevaux. Outils disposés par rangées de cinq.	10 250	4	4	8
2). Dix moteurs de 5 chevaux (vitesse constante).	14 400	2	7,5	9
3). Dix moteurs de 5 chevaux (vitesse 300 à 900 t. : m.).	17 000	»	7,5	7,5

Dans le cas du moteur de 40 chevaux, quand l'arbre est en mouvement et les outils débrayés, il y a une perte constante d'environ 4 chevaux dans l'arbre et les courroies. Dans les cas 2 et 3, la consommation d'énergie est nulle pendant l'arrêt des outils. On ne peut hésiter qu'entre le moteur unique et les dix moteurs à vitesse variable, ceux-ci étant préférables aux moteurs à vitesse cons-

Digitized by Google

Ce sont évidemment les frais de premier établissement qui empêchent beaucoup d'industriels d'adopter la commande électrique, mais lorsqu'on peut emprunter les capitaux nécessaires à un taux modéré, il y a presque toujours avantage à recourir à ce système. Il cesse d'être recommandé seulement quand les outils sont de trop faible puissance ou quand le combustible est trop bon marché.

Transmissions mécaniques. — La vitesse ordinaire des moteurs électriques est trop grande pour la plupart des machines-outils ; les seules exceptions sont les scies, les ventilateurs et certaines machines à travailler le bois. Il faut donc, dans la plupart des cas, réduire la vitesse au moyen d'une transmission. L'auteur, après avoir essayé tous les systèmes, est arrivé à la conclusion que les transmissions par engrenages, par pignon et chaîne et par courroie, étaient seules recommandables pour les cas généraux. L'embrayage par pignon et vis sans fin est d'une utilité spéciale pour les grandes réductions de vitesse, en particulier pour les machines de levage, où la question du rendement a peu d'importance. L'embrayage par chaîne et pignon convient très bien aux transmissions courtes. On emploie à Sheffield et à Barrow des chaînes Renold transmettant de cinq à quatre-vingts chevaux, avec les meilleurs résultats. La disposition généralement adoptée pour les commandes de groupes consiste à fixer le moteur à un pilier ou sur une console et à attaquer l'arbre par une chaîne, l'axe de l'arbre et celui du moteur étant écartés de 0,90 m. à 1,20 m. On peut réduire ainsi la vitesse dans le rapport de six à un.

Moteurs à vitesse variable. — On construit aujourd'hui sans difficulté des moteurs dont on peut faire varier la vitesse dans le rapport de trois à un, ou même davantage, en agissant sur l'excitation. Pour les moteurs assez puissants, le nombre de tours variera par exemple de 250 à 750 et pour les moteurs de cinq à six chevaux, de 300 à 900. Si l'on veut abaisser davantage la limite inférieure de vitesse ou se donner une échelle de variations plus grande, le prix des moteurs augmente rapidement.

Il y a aujourd'hui aux usines de Sheffield environ 110 moteurs à vitesse variable actionnant des tours et des machines à forer les canons; leur service est très satisfaisant. Tous ont été construits par les ateliers d'électricité de la Compagnie.

Presque tous les moteurs actionnant des groupes ou des outils isolés sont excités en dérivation, mais, dans les cas où on a besoin d'un courant de démarrage intense, on emploie des moteurs à enroulement série ou compound. Les outils, comme les cisailleuses, poinçonneuses et autres machines employées dans la construction des navires et des chaudières, sont munis de lourds volants, dont l'accélération exige un couple énergique. Les moteurs série conviennent parfaitement dans ces cas, où la vitesse n'a pas besoin d'être constante et où la charge est toujours assez forte pour l'empêcher de prendre une valeur excessive.

Les moteurs à renversement de marche ne paraissent pas avoir reçu autant d'applications qu'ils le méritent; on installe généralement, pour les laminoirs par exemple, un arbre auxiliaire commandant la machine par une courroie directe et une courroie croisée, ce qui prend beaucoup de place et fait fortement glisser les courroies. On peut très bien, dans ce cas, employer un moteur à renversement et un engrenage. C'est ainsi qu'on actionne plusieurs laminoirs au chantier naval de Barrow, la puissance des moteurs étant de 45 et 30 chevaux. On se sert, dans ce cas, de rhéostats liquides. Aux usines de Sheffield, des laminoirs sont actionnés par des moteurs de tramway de 22 chevaux

---

tante, de l'avis de tous ceux qui les ont essayés. Or les conditions moyennes de travail peuvent se représenter ainsi : huit tours en activité, deux au repos. Dans ce cas, la comparaison entre les systèmes 1 et 3 donne :

Pertes totales — (Système 1) = 7,5 chevaux effectifs.
» » (» 3) = 6 » »

Un cheval effectif équivaut pratiquement à un kilowatt au tableau de distribution. Si le kilowatt-heure revient à 0,075 fr. et s'il y a 54 heures de travail par semaine, on trouve que l'économie réalisée par le système des moteurs à commande variable est de 325 fr. par an. Mais il faut tenir compte de l'intérêt de 4 p. 100 portant sur la différence des frais d'établissement : l'économie apparente se trouve ainsi ramenée à 50 fr. par an. Toutefois, ce n'est là qu'un minimum, car pendant les heures supplémentaires de travail, quand un ou deux tours seulement travaillent, l'avantage des moteurs individuels est bien plus marqué. En outre, les moteurs à vitesse variable suppriment l'inconvénient de la perte de temps causée par le déplacement des courroies, ce qui accroît notablement la production.

Digitized by Google

dont on règle la marche par des combinateurs du type tramway ordinaire.

L'auteur donne une longue liste de résultats d'essais se rapportant à des machines de genres divers employées dans les usines Vickers, tours, perceuses, raboteuses, laminoirs, scies, pompes, grues, ventilateurs, etc. Nous reproduisons en note [1] quelques-uns de ces résultats.

Eclairage. — L'éclairage est assuré par des lampes à arc et des lampes à incandescence, dont le tableau ci-dessous donne le nombre pour chacune des principales usines :

	Lampes à arc	Lampes à incandescence de 16 bougies
Sheffield	558	3 500
Barrow	720	4 000
Erith	400	3 500
North Kent	60	400
Wolseley	80	750

Economie réalisée par la commande électrique. — Il est très difficile de présenter sous la forme d'une comparaison simple les avantages de la force motrice électrique. Les industriels qui y ont recours s'aperçoivent, en effet, qu'elle leur rend possible beaucoup de travaux qu'ils ne pouvaient effectuer par l'ancienne méthode et se trouvent ainsi conduits à accroître leur matériel. L'auteur ne connaît pas un seul cas où les conditions d'exploitation aient été les mêmes avant et après l'électrification des ateliers.

A Barrow, une extension du chantier naval, entraînant un accroissement d'environ 50 p. 100 de la puissance nécessaire, a marché simultanément avec les installations électriques. Le résultat a été celui-ci : *diminution de moitié des frais de charbon, augmentation de* 50 p. 100 *dans la production.* C'est le seul cas où il soit possible d'établir une comparaison si directe.

Il est regrettable qu'on ne puisse faire plus clairement ressortir les économies réalisées grâce à la commande électrique, si évidentes d'ailleurs pour ceux qui emploient cette méthode. Le cas de la machine à charger les fours citée plus haut en note, ainsi que l'exemple suivant, montrent du moins qu'une notable réduction de la main-d'œuvre est rendue possible. Dans l'atelier de rabotage des plaques de blindage, mû jusqu'ici par trois machines à vapeur développant plus de 600 chevaux, on installe aujourd'hui des moteurs électriques. Au lieu de six mécaniciens (deux se relayant à chaque machine), il n'en faudra plus qu'un, celui qu'on ajoutera au personnel de la station centrale.

P. L.

---

(1) *Machine.* — Alésoir de canons.
Commande. — Moteur électrique actionnant par l'intermédiaire d'un engrenage un arbre auxiliaire, qui est relié à la machine par une courroie.
Moteur. — 5 chevaux, enroulement shunt, 600 t. : m.
Travail. — Alésage de 20 cm dans un tube de canon de 15 cm de diamètre intérieur. 75 mm par heure. 5,4 chevaux. On enlève 2,560 kg d'acier par cheval-heure.
Machine. — Laminoir vertical de 1,87 m.
Commande. — Par engrenage.
Moteur. — Moteur de tramway de 22 chevaux, 575 t. : m.
Travail. — Cintrage d'une plaque d'acier au nickel de 75 mm à un rayon de courbure d'environ 62 cm, à la température du rouge sombre.
Charge moyenne, 25 chevaux.
Charge maxima observée, 35 chevaux.
(Le travail étant intermittent, le moteur ne souffre pas de la surcharge).
On emploie, pour le chargement des fours à fondre l'acier, une machine mue par trois moteurs de tramways de 25 chevaux et un moteur de 5 chevaux, qu'un seul homme suffit à conduire. Le tableau ci-dessous est la comparaison entre le chargement à la main employé auparavant et le chargement électrique d'un four Siemens de 40 tonnes.

	CHARGEMENT à la main.	CHARGEMENT électrique.
Contenance du four	40 tonnes	40 tonnes
Temps nécessaire pour une heure.	4 heures	1/2 heure
Hommes employés par four.	4 et quelquefois plus	$2 + \frac{1}{6}$ du temps du mécanicien
Salaires par tonne chargée	3,10 fr.	1,80 fr.
Energie électrique	—	0,25 »
Charges par four et par semaine.	9	12

Le Gérant : C NAUD.

Tome XXXVII | Samedi 7 Novembre 1903. | 10e Année. — N° 45

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

USINE GÉNÉRATRICE ET STATIONS DE TRANSFORMATION

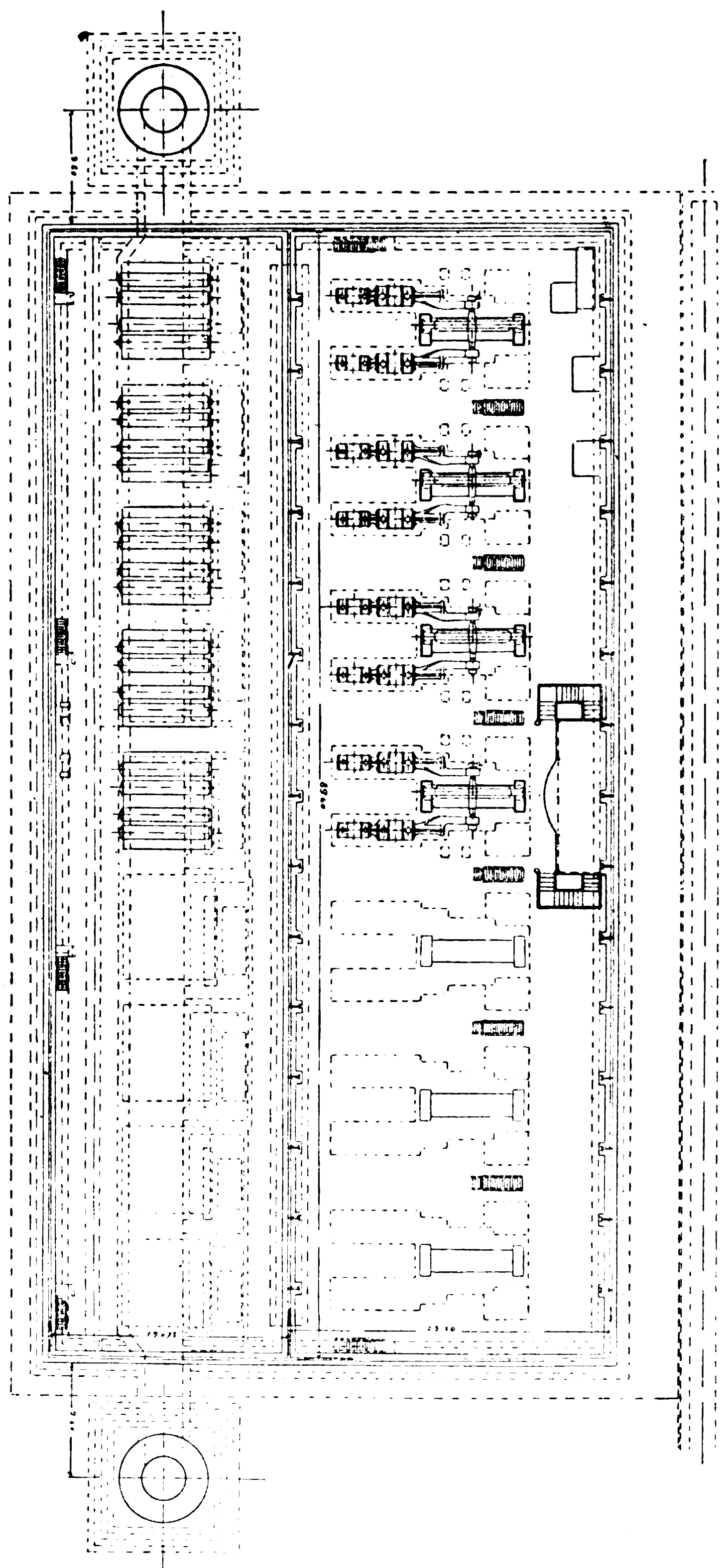
DES TRAMWAYS BRUXELLOIS

Lorsqu'en 1894 les Tramways Bruxellois appliquèrent la traction électrique à la ligne des boulevards circulaires (haut) et à celle d'Uccle à la place Stéphanie, l'usine génératrice, installée dans une partie du dépôt de la rue Brogniez, ne comportait que cinq groupe électrogénes de 100 kilowatts alimentés par trois chaudières de 235 m² de surface de chauffe. La longueur des lignes à traction électrique se trouvait alors être d'environ 10,2 km, desservies par 30 voitures motrices.

Cette usine put encore satisfaire aux exigences du service lorsque, en novembre 1896, fut inaugurée la nouvelle ligne électrique reliant Uccle à la gare du Midi par la chaussée d'Alsemberg, d'une longueur de 4,1 km et desservies par 7 voitures motrices. Mais dès ce moment, l'agrandissement de cette usine fut décidé en vue de l'alimentation des lignes à trôlet souterrain du Bois de la Cambre à Schaerbeck et de l'Impasse du Parc au Rond-Point de l'Exposition et de la ligne à trolet aérien prolongeant cette dernière du Rond-Point au Bois, lignes d'une longueur de 13,4 km, desservies par 65 voitures motrices et mises en exploitation de mai à septembre 1897. A côté de l'ancienne usine, qui ne devait plus servir que comme réserve, on en construisit une nouvelle contenant trois chaudières Babcock et Wilcox, deux groupes électrogènes de 400 kilowatts et deux groupes de 225 kilowatts [1].

[1] Pour la description de cette usine, voir Travailleur, Les tramways bruxellois à traction électrique souterraine, *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 433, 4 décembre 1897.

Digitized by Google

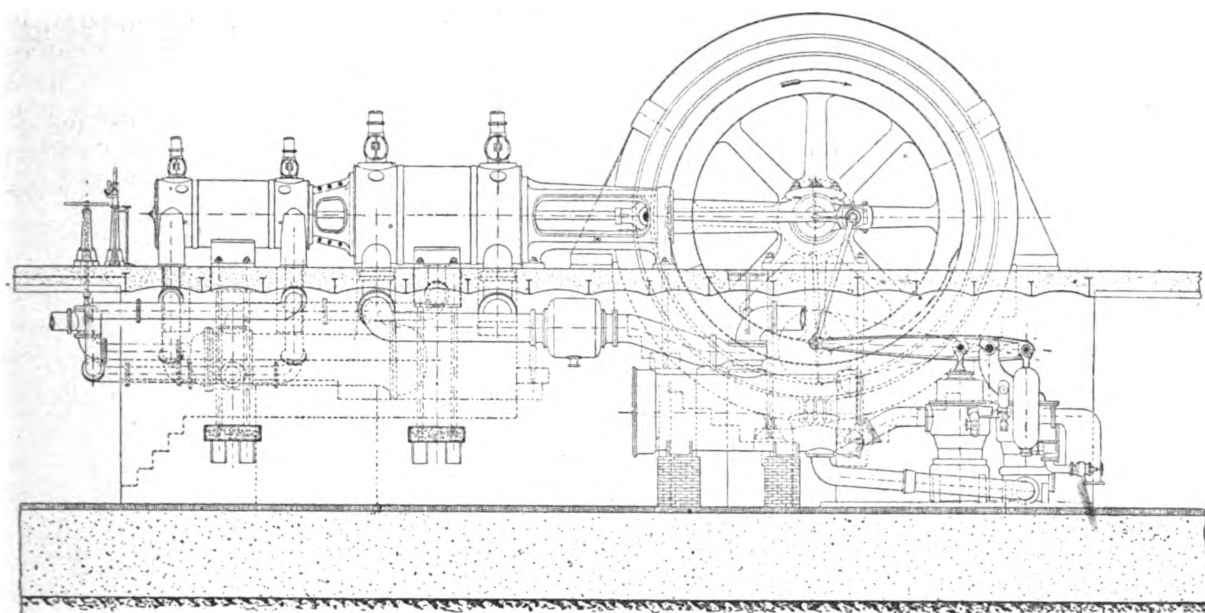

Fig. 1. — Disposition d'ensemble des bâtiments.

Quoique la puissance disponible se trouvât ainsi portée à 1 750 kilowatts, la progression rapide du début de cette usine fit bientôt entrevoir la nécessité d'un nouvel agrandissement. Cette prévision s'affirma lorsqu'en 1899 la Société des Tramways Bruxellois obtint une concession de durée unifiée jusqu'au 31 décembre 1945, avec obligation d'appliquer la traction électrique à toutes les lignes de son réseau. L'achat, à la même époque, du réseau d'Ixelles-Boendael et de la ligne de Tervueren, en donnant à la Société la disposition de deux nouvelles usines génératrices, permit toutefois d'ajourner provisoirement ce projet d'agrandissement et de rechercher si une autre solution ne serait pas préférable, étant données les conditions nouvelles du réseau.

Après étude il fut reconnu que l'agrandissement des usines existantes, toutes trois situées à proximité des quartiers très habités et difficiles à approvisionner, ne pourrait rendre les mêmes services et serait moins économique que la création d'une nouvelle usine centrale produisant des courant alternatifs à haute tension et alimentant les usines existantes, réduites au rôle de stations de transformation. En août 1901, le Conseil d'administration des Tramways Bruxellois adoptait cette solution et bientôt, à la suite d'un concours, chargeait l'Union Electricitaets

Digitized by Google

Gesellschaft, qui avait dirigé l'établissement des anciennes installations, de l'entreprise des installations nouvelles. En juin 1903, par conséquent moins de deux ans après l'adoption



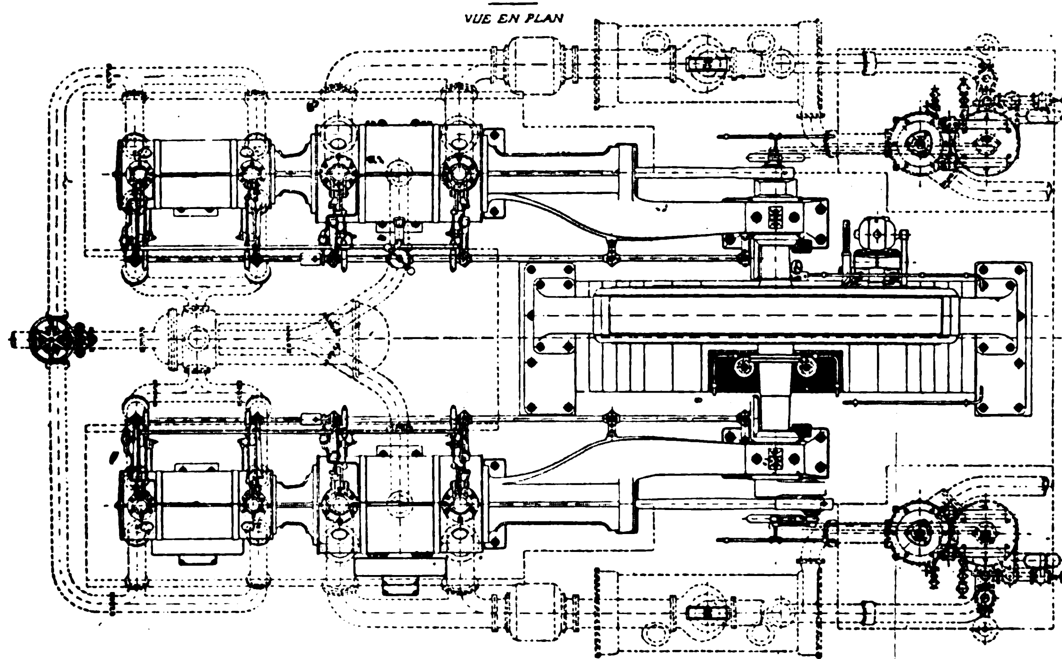


Fig. 2 et 3. — Machine Van den Kerchove, horizontale, compound tandem, à distribution par pistons-valves. Élévation-vue sur les organes de condensation. — Vue en plan.

du projet, la Société des Tramways Bruxellois inaugurait solennellement la nouvelle usine.

Grâce aux renseignements qu'a bien voulu nous donner la Société lors de la visite récente que nous avons faite de cette usine, nous en donnons ci-dessous la description, que

Digitized by Google

nous faisons suivre de celle des installations nouvelles des usines transformées en sous-stations.

Cette usine a été établie en vue de l'alimentation du réseau total comprenant environ 80 km de double voie à desservir par 190 trains de 15 tonnes en service ordinaire, et 295 trains du même poids, en service intensif.

I. **Usine centrale.** — Elle est située à Anderlecht, entre la rue Birmingham et le quai du Halage, le long du canal de Charleroi à Bruxelles.

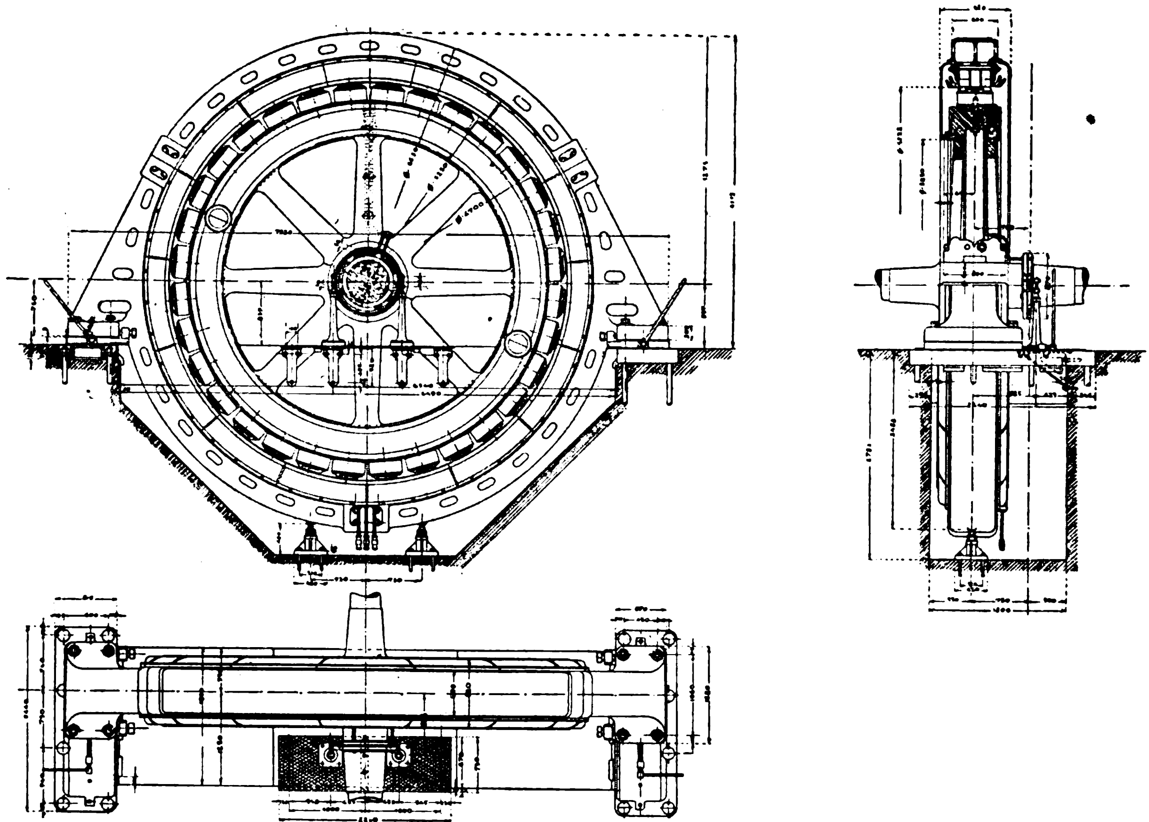


Fig. 4, 5 et 6. — Alternateur Union Electricitaets Gesellschaft, triphasé de 1 500 kilovolts-ampères.

La figure 1 donne la disposition d'ensemble des bâtiments. Les halls des machines et des chaudières sont disposés parallèlement au canal et de telle façon que, si les nécessités du service le commandaient dans l'avenir, ces halls pourraient être doublés.

Du côté nord et longeant le raccordement du chemin de fer des Abattoirs d'Anderlecht, se trouvent les silos à charbon.

La salle des machines et la chaufferie sont bâties sur un radier général de béton de 1,50 m d'épaisseur, armé par deux couches de vieux rails. Ces armatures se trouvent respectivement à 20 cm du fond et à 25 cm de la surface supérieure.

Le radier s'étend de 3 m au delà de l'axe des murs, sur tout le pourtour des bâtiments, mais du côté du canal de Charleroi, il vient jusque contre l'aqueduc en maçonnerie.

Le bâtiment proprement dit, de la salle des machines et de la chaufferie est constitué par une charpente métallique, reposant sur des murs de 3,80 m de haut. Ces murs, sur lesquels

Digitized by Google

s'appuyent les fermes de la charpente, ont 1 m d'épaisseur; les murs d'élévation ont 32 cm.

Les fondations des cheminées sont formées par deux plateaux en béton de 12 m de côté et 1,50 m d'épaisseur, sur lesquelles s'élèvent deux pyramides de 0,80 m de haut ; sur ces pyramides reposent les fûts des cheminées.

Parallèlement à la salle des machines est établi un aqueduc en maçonnerie qui reçoit par écoulement naturel les eaux du canal de Charleroi. Les pompes de circulation des condenseurs des machines y puisent directement l'eau nécessaire à la condensation. La communication de cet aqueduc avec le canal de Charleroi est établie à l'extrémité sud par un

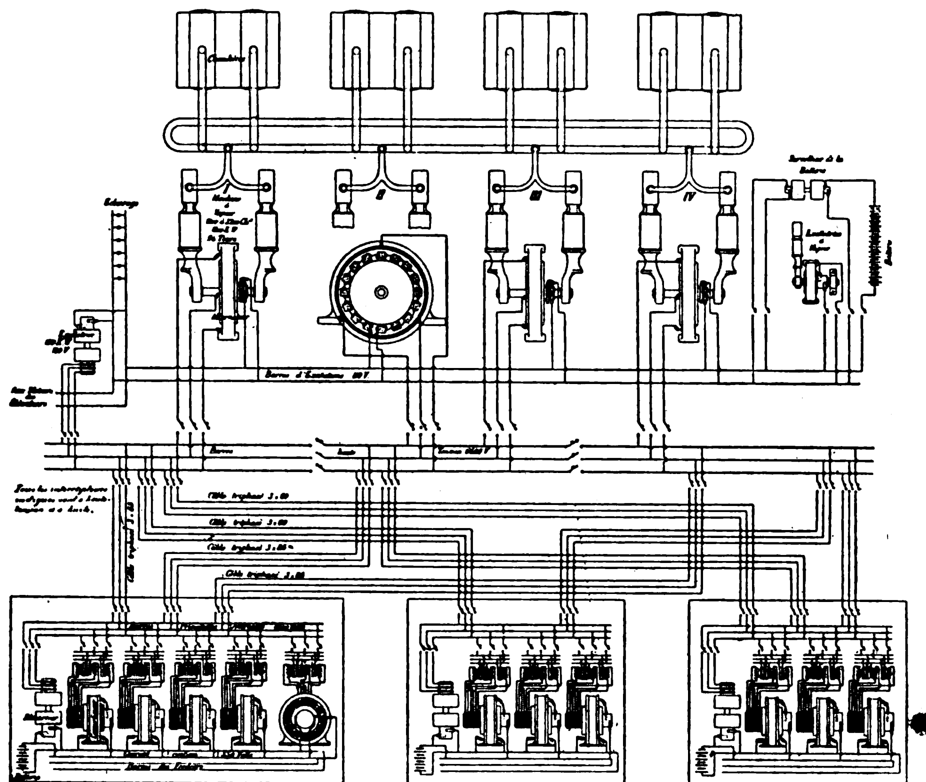


Fig. 7. — Schéma des installations électriques et mécaniques.

tuyau en fonte de 1 m de diamètre, commandé par une vanne et noyé de 0,83 m à son axe. Ce tuyau assure le débit nécessaire au service des sept groupes pour lesquels l'installation totale a été prévue. L'eau qui a servi à la condensation est renvoyée au canal par un tuyau collecteur logé dans le sous-sol ; ce tuyau, d'un diamètre de 1,25 m, amène les eaux dans un bassin d'où elles se déversent dans le canal par quatre tuyaux de 0,70 m de diamètre, disposés en éventail et débouchant au-dessus du niveau de la flottaison.

La distance entre la sortie et la prise de l'eau est de 100 m environ.

Machines a vapeur. — La salle des machines comprend actuellement quatre groupes électrogènes de 1 500 kilovolts-ampères, mais ses proportions permettent l'installation de trois groupes supplémentaires semblables.

Les machines à vapeur (fig. 2 et 3) construites par la Société Anonyme des Anciens

Digitized by Google

Ateliers Van den Kerchove de Gand, sont du type compound en tandem à distribution par pistons-valves. Chaque groupe se compose de deux machines de 900 à 1 400 chevaux effectifs, jumelées et attaquant le même arbre qui porte le rotor des alternateurs triphasés.

Les caractéristiques des machines à vapeur sont les suivantes :

Pression initiale, 9 atmosphères.
Température de la vapeur à l'admission, 275 à 300° centigrades.
Diamètre des petits cylindres, 630 mm.
Diamètre des grands cylindres, 1 090 mm.
Course, 1,200 m.
Vitesse, 94 tours.
Régularité cyclique, $\frac{\text{V maximum} - \text{V minimum}}{\text{V moyen}} < 1/400$.
Les variations ne doivent pas dépasser :
1/2 p. 100 pour charge constante.
2 p. 100 pour charge ou décharge brusque de 25 p. 100.
6 p. 100 pour une charge brusque de 0 à la charge maxima ou pour décharge brusque de la charge maxima à 0.

Le rotor de la dynamo, dont le moment de giration atteint 700 000 kg-m a une masse suffisante pour assurer la régularité cyclique de la dynamo, sans volant spécial.

La puissance normale des deux machines jumelées est de 1 800 chevaux correspondant à une admission de 23 p. 100 de la longueur de la course; pour une admission de 45 p, 100, la puissance est de 2 800 chevaux effectifs.

La détente de la vapeur est de 15 fois son volume d'admission pour 1 800 chevaux et 6 1/2 volumes pour 2800 chevaux.

Les surfaces frottantes sont les suivantes :

	DIAMÈTRE	LONGUEUR
Bouton de la crosse	175	230 mm
Bouton de la manivelle	210	260 »
Coussinet de l'arbre	330	580 »

Glissière de la crosse, surface : 3 400 cm².
Tige du piston, diamètre : 130 mm.

La distribution se fait pour chaque cylindre par quatre pistons-valves commandés par un mouvement très simple.

Ces obturateurs, complètement équilibrés, travaillent dans des gaines percées de lumières pour le passage de la vapeur. Des cercles élastiques leur donnent une étanchéité parfaite. Ces pistons pendent librement et verticalement dans leur logement et leur course est faible, de façon à réduire au minimum l'usure, tandis que leur dilatation peut se faire par toute température sans compromettre leur tanchéité. La position des obturateurs dans les fonds des cylindres a permis de réduire au minimum les surfaces decondensation.

Les petits cylindres ne sont pas munis d'enveloppe.

Un receiver est placé entre les deux groupes des cylindres. La vapeur de décharge du petit cylindre, avant d'être admise au grand cylindre, est encore réchauffée dans ce receiver au moyen de la vapeur vive d'admission qui traverse un faisceau tibulaire logé dans le receiver. Avant d'agir dans le grand cylindre, la vapeur parcourt l'enveloppe de celui-ci.

Chaque groupe comporte deux condenseurs à surface, constitués par des faisceaux de tubes en laiton à l'intérieur desquels passe l'eau pour la condensation; la vapeur à condenser circule à l'intérieur. Les pompes de circulation et les pompes à air sont accouplées directement au bouton de manivelle de la machine par l'intermédiaire d'une bielle et d'un

Digitized by Google

balancier. Celui-ci actionne également la pompe d'alimentation qui refoule l'eau condensée aux chaudières.

Le volant de la soupape d'admission, toutes les commandes de purges, les indicateurs de pression et de vide, etc., sont réunis en un point, dans l'axe de la machine et un peu en arrière. De ce point, le machiniste a le contrôle complet de la machine, ayant en même temps sous les yeux tout le mouvement de distribution, le régulateur etc.

Le régulateur, unique pour les deux machines jumelées, agit sur les quatre cylindres et coupe l'admission si la charge dépasse accidentellement une limite fixée.

Un servomoteur, commandé du tableau de distribution, permet de déplacer légèrement le contre-poids des régulateurs, de façon à faire varier la vitesse de rotation et faciliter ainsi la mise en synchronisme des alternateurs que l'on veut mettre en parallèle.

Dynamos. — Les quatre alternateurs (fig. 4 à 6) ont été construits par l'Union Electricitäts Gesellschaft de Berlin. Ils ont une capacité normale de 1 500 kilovolts-ampères à 6600 volts.

Les pôles sont au nombre de 32.

A la vitesse normale, la fréquence est de 25 périodes par seconde.

Les pôles sont feuilletés, garnis de bobines constituées par des bandes en cuivre, séparées par du papier imbibé de vernis isolant. Des bagues en bronze enveloppent les épanouissements polaires et fonctionnent comme amortisseurs, sous l'action des courants d'échange.

Les circuits du stator, bobiné en triangle, sont logés dans des encoches presque fermées.

Ces alternateurs peuvent supporter une surcharge de 50 p. 100 pendant une demi-heure.

Le rendement de ces dynamos est de 96 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$ et à la charge de 1 250 kilowatts, excitation comprise.

Les groupes d'excitation sont au nombre de trois, dont deux actionnés par des moteurs asynchrones à 6 600 volts, le troisième par une machine à vapeur.

Une batterie d'accumulateurs assure la réserve de ces groupes d'excitation dans le cas d'arrêt de l'un d'eux. Les dynamos excitatrices à 8 pôles ont une puissance de 100 kilowatts sous 110 volts et font 250 tours par minute. La batterie, aussi bien que l'un quelconque des groupes d'excitation, peut servir à l'alimentation de l'éclairage et des moteurs auxiliaires ; pour ne pas troubler, par des causes extérieures, le régime du circuit d'excitation, celui-ci est rendu indépendant des circuits des moteurs et de l'éclairage, qui n'a de commun avec le premier que le pôle négatif.

Le schéma (fig. 7) donne l'ensemble de toutes les installations mécaniques et électriques.

Tableaux. — Les tableaux et appareils qui en dépendent (fig. 7) ont été étudiés de façon à rendre les manœuvres aussi simples et aussi aisées que possible et à préserver d'une façon absolue le personnel contre les dangers des appareils à haute tension. Tous les organes à haut potentiel sont séparés par des cloisons en maçonnerie. Tous les interrupteurs à haute tension, à rupture dans l'huile, sont commandés à distance par de petits sermovoteurs à courant continu, à basse tension.

Le tableau proprement dit de l'usine centrale est placé sur une plateforme et est divisé en trois parties distinctes.

La première comprend les appareils à basse tension et courant continu, pour les excita-

Digitized by Google

trices, la batterie, l'éclairage et les moteurs du service de l'usine. Cette partie du tableau, disposée sur panneaux verticaux, est placée contre le mur et est composée de trois panneaux pour les dynamos, un panneau pour la batterie, trois panneaux pour les organes auxiliaires et un panneau pour le survolteur de la batterie.

La deuxième partie du tableau comprend principalement la commande des interrupteurs à haute tension. Cette commande se faisant à distance, la partie apparente du tableau ne porte que les interrupteurs des servomoteurs pour la manœuvre des interrupteurs à huile, des génératrices triphasées, des feeders allant aux sous-stations, des moteurs à induction actionnant les excitatrices et de ceux servant à sectionner les barres principales.

Un dispositif de lampes-témoins permet à tout instant de constater si les interrupteurs sont ouverts ou fermés. Tous ces appareils sont disposés sur une table de manœuvre placée au centre de la plate forme.

Cette table porte également les volants de commande des rhéostats d'excitation et des interrupteurs commandant de petits moteurs électriques; ceux-ci agissent sur le contre-poids des régulateurs des machines à vapeur, de façon à permettre à l'électricien du tableau d'accélérer ou de ralentir, dans de certaines limites, à distance, la vitesse de ces machines lors de la mise en parallèle.

La troisième partie du tableau comprend les appareils de mesures destinés aux génératrices triphasées, aux feeders, aux moteurs des excitatrices et les relais à maximum pour le déclenchement automatique des interrupteurs à huile. Ces appareils sont disposés sur l'avant de la plate-forme et appliqués sur des tubes en cuivre à claire-voie. Ces tubes, étant espacés d'environ 0,30 m l'un de l'autre, laissent entre eux un jour qui permet à l'électricien de suivre tout ce qui se passe dans la salle des machines, tout en contrôlant ses appareils.

Chaque feeder, chaque dynamo génératrice et chaque moteur asynchrone a son panneau ou son ensemble d'appareils.

Tout ceux-ci sont à basse tension.

Les panneaux des feeders comprennent un ampèremètre sur chaque phase.

Les panneaux des dynamos génératrices comprennent un phasemètre, un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre.

Les panneaux des moteurs asynchrones comprennent un ampèremètre et un wattmètre.

Au milieu du tableau est placé un synchronoscope de Lincoln, avec des lampes de synchronisation. En plus, à chaque feeder et moteur asynchrone, correspond un relais automatique à maximum commandant un interrupteur à huile.

Ces relais font partie du circuit secondaire des petits transformateurs de courant et sont fixés à la partie inférieure des colonnes.

La partie à haute tension et tous les appareils de transformation sont placés en sous-sol, comme il a été dit.

Les barres principales sont divisées en trois tronçons à chacun desquels aboutissent une partie des feeders et une partie des machines.

Des huit feeders qui partent de la centrale pour alimenter les sous-stations, trois sont connectés au tronçon de gauche des barres centrales, deux au tronçon du milieu et trois au tronçon de droite.

Des quatre dynamos, une est branchée sur la partie de gauche des barres, deux sur la partie du milieu et une sur la partie de droite.

De même les deux moteurs asynchrones qui attaquent les dynamos excitatrices sont branchés : un sur la partie de droite des barres et un sur la partie de gauche.

Digitized by Google

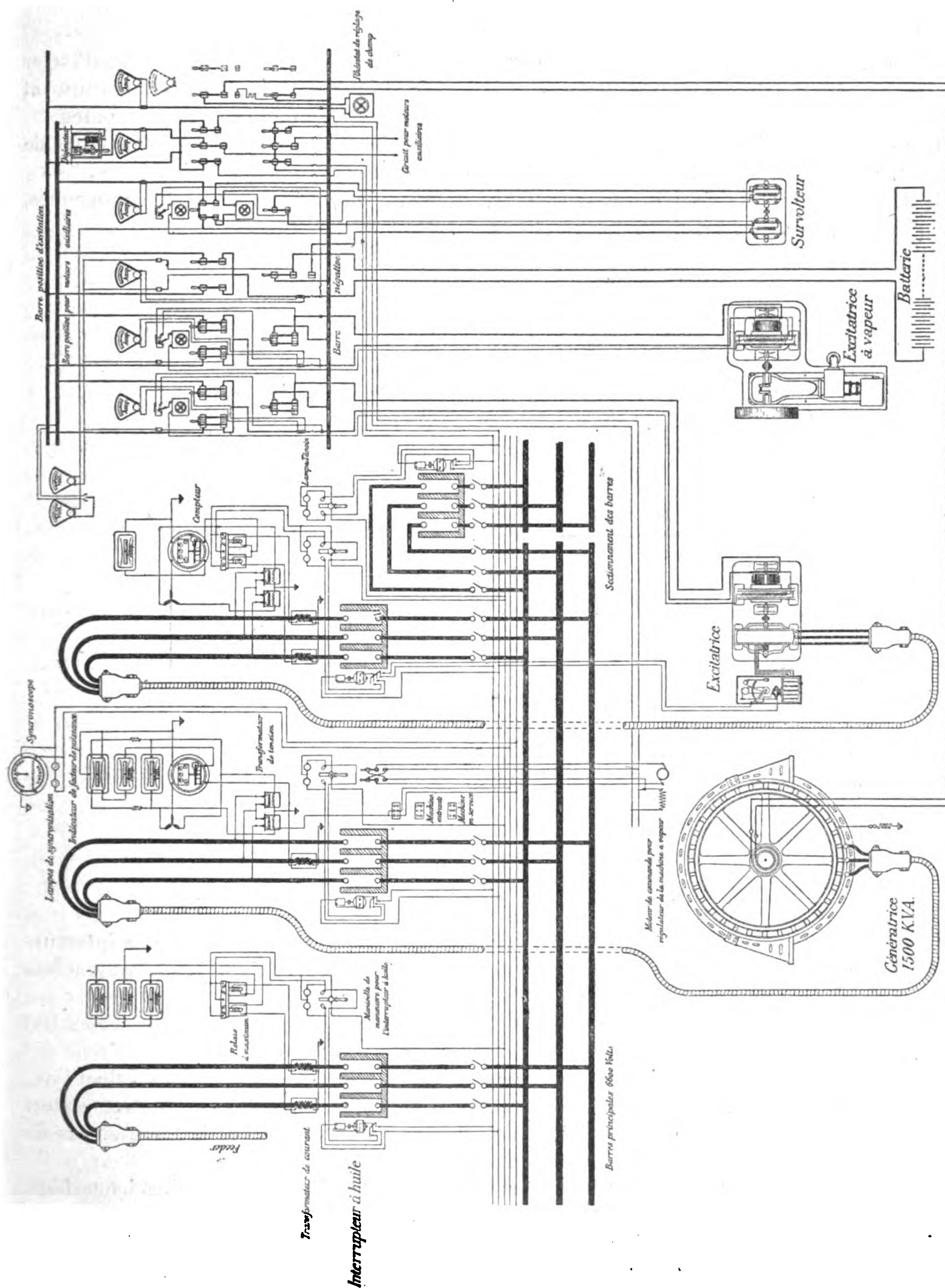


Fig. 8. — Schéma des connexions.

Digitized by Google

Les trois parties des barres sont réunies électriquement au moyen de deux interrupteurs à huile.

Cette division des barres (fig. 8) permet en cas d'accident ou de réparation, d'isoler une partie des feeders, des dynamos ou des barres elles-mêmes, tout en continuant d'assurer l'alimentation de tout le réseau par les autres sections des barres principales.

Les câbles triphasés venant des dynamos passent d'abord par des transformateurs de courant, vont ensuite aux interrupteurs à huile et de ceux-ci aux barres principales.

Des transformateurs de tension pour les voltmètres, wattmètres et synchronoscopes, sont pris en dérivation sur deux des trois phases.

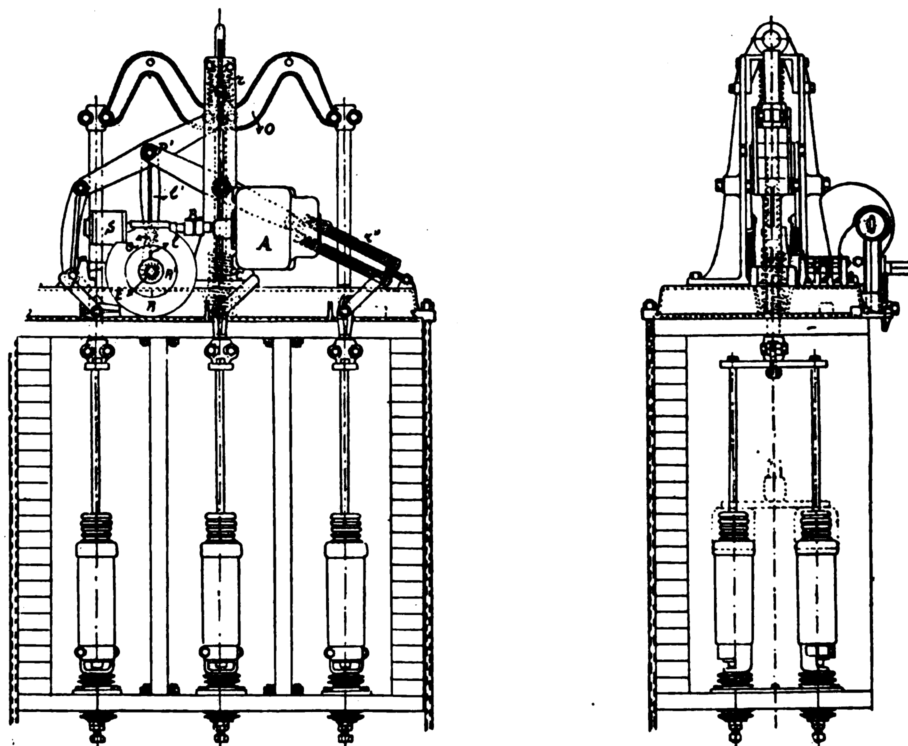


Fig. 9 et 10. — Interrupteur à huile de la General Electric Company.

Des branchements pris sur les barres principales aboutissent d'abord à des interrupteurs à huile, de là à des transformateurs de courant (pour les ampèremètres, wattmètres et relais des interrupteurs automatiques), et enfin aux feeders.

D'autres dérivations semblables servent aux moteurs asynchrones attaquant les excitatrices.

Chaque phase des feeders est en connexion avec deux interrupteurs à lame, dont l'un, toujours fermé, est en communication avec le parafoudre, tandis que l'autre, ouvert en temps normal, permet de mettre les feeders en communication avec la terre en cas de réparation.

Les secondaires des transformateurs de courant et de tension signalés plus haut aboutissent aux appareils de mesure ou de déclenchement.

Une batterie de 500 ampères-heure est placée dans les sous-sols du bâtiment à charbon; cette batterie sert pour l'éclairage de nuit et comme réserve aux excitatrices.

Digitized by Google

L'interrupteur à huile (fig. 9 et 10) est d'application toute récente et a été étudié par la General Electric Company, de Schenectady.

Il comprend principalement six plongeurs de rupture, disposés deux par deux en série sur chaque phase et renfermés dans des vases isolés en laiton, remplis d'huile.

Chaque paire de plongeurs est commandée par une tige verticale en bois; ces trois tiges sont solidaires d'une armature supérieure O qui est actionnée dans le sens vertical pour la fermeture et l'ouverture de l'interrupteur, par un mécanisme spécial figuré au plan.

Cette armature O reçoit son mouvement d'un axe horizontal E, par l'intermédiaire d'une manivelle l, d'une bielle l' et d'un système de leviers constituant en quelque sorte un parallélogramme de Watt. Ce mécanisme est détaillé dans le croquis ci-contre.

Dans les positions extrêmes, inférieures ou supérieures, correspondant aux points morts du bouton de manivelle a, l'armature O comprime de puissants ressorts rr', qui entreront en jeu aussitôt que le point a est sollicité à quitter un des points morts. Un troisième ressort r'' a pour but de contrebalancer à la levée le poids de la partie mobile de l'appareil.

L'arbre E est solidaire d'une roue R concentrique à une seconde roue R'. Cette dernière peut entraîner R' par l'intermédiaire d'un cliquet, non représenté sur la figure. La roue extérieure R porte à sa jante une denture hélicoïdale engrenant avec une vis sans fin disposée sur l'axe du moteur A. Toutefois, cet axe est divisé en deux parties par un embrayage commandé par le solénoïde S; un ressort antagoniste tend à provoquer le débrayage.

L'appareil fonctionne de la façon suivante : Supposons l'interrupteur ouvert, le ressort r est comprimé et la manivelle se trouve au point mort supérieur.

Pour produire l'enclenchement, on ferme au tableau le circuit du moteur et du solénoïde sur une source auxiliaire d'électricité, en l'espèce une batterie d'accumulateurs.

Le moteur démarre et en même temps le solénoïde embraye la partie de l'axe portant la vis sans fin, la roue R tourne, entraînant la roue R', par l'intermédiaire du cliquet. Aussitôt que le bouton a a quitté le point mort, le ressort r prend une action prédominante sur le moteur et chasse violemment vers le bas l'armature O et les plongeurs, de façon à venir buter contre le ressort inférieur r'.

La roue R', entraînée par la bielle l' et la manivelle, prend l'avance sur la roue R et le système tend à s'arrêter dans une position voisine du point mort inférieur.

A ce moment, les circuits à haute tension sont déjà fermés, mais cela ne suffit pas; il faut que l'appareil soit prêt à fonctionner en sens inverse; à cet effet, le moteur A ayant continué à tourner, la roue R entraîne à nouveau par son cliquet la roue R', qui s'était arrêtée, et tout le système est amené au point mort inférieur, tandis que le ressort inférieur est bandé par l'effet du moteur.

A ce moment, le courant est coupé dans le solénoïde et le moteur est débrayé.

Tout le système s'arrête, tandis que le moteur, obéissant à sa force vive, peut encore faire quelques tours sans déranger l'ensemble du système.

Celui-ci est maintenu prêt à fonctionner d'une façon identique, mais en sens contraire, c'est-à-dire pour l'ouverture du circuit à haute tension.

L'axe E porte à l'extrémité un carré qui, en cas d'avarie du moteur, permet la manœuvre à la main. On se sert, à cet effet, d'une clef à raccagnac.

Chaudières. — La salle de chauffe comprend 10 chaudières Babcock et Wilcox, de 350 m² de surface de chauffe et 6,5 de surface de grille, disposées en 5 groupes de deux.

Digitized by Google

Un de ces groupes est muni du système de foyer automatique Babcock et Wilcox à grille tournante.

Chacun des cinq groupes est muni d'un réchauffeur-économiseur Green, composé de tuyaux en fonte logés dans les carneaux traversés par les produits de la combustion ; à l'intérieur de ces tuyaux circule l'eau d'alimentation.

Chaque économiseur est composé de 280 tubes verticaux représentant une surface de 280 m².

La suie qui se dépose sur les tubes des économiseurs est enlevée au moyen de manchons circulaires enveloppant les tubes et mis en mouvement au moyen d'un petit moteur électrique.

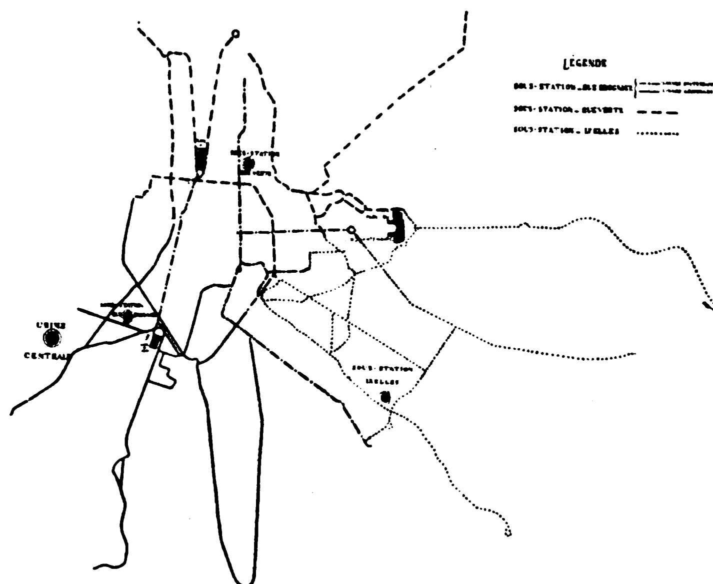


Fig. 11. — Réseau des Tramways Bruxellois.

L'alimentation des chaudières se fait normalement au moyen des pompes directement accouplées aux manivelles des machines. Comme réserve à ces pompes, il a été prévu deux pompes à vapeur et une pompe électrique ; cette dernière sert également à fournir l'eau nécessaire au nettoyage des tubes des chaudières au moyen des turbines-racloirs.

Aux dix chaudières susmentionnées viendront s'ajouter les 5 chaudières de 235 m² et les 3 chaudières de 400 m², qui se trouvent dans les anciennes usines.

Chacune des chaudières de 350 m² est munie d'un surchauffeur d'environ 80 m² de surface de chauffe, composé de deux boîtes transversales supérieures et de deux boîtes inférieures reliées par 144 tubes en acier, de 38 mm de diamètre extérieur.

Les tubes des chaudières sont au nombre de 176 par chaudière.

Les réservoirs d'eau et vapeur ont un diamètre de 1 065 mm et 6,920 m de long; ils sont réunis par un ballon de vapeur de 508 mm de diamètre et 2,285 m de long.

La pression du timbre est de 10 atmosphères.

Deux cheminées de 60 m de hauteur et de 3 m de diamètre au sommet assurent le tirage pour toutes les chaudières, qui sont à ce point de vue divisées en deux groupes distincts.

Des vannes verticales à papillon permettent aux gaz chauds de passer, soit dans les chambres des économiseurs Green, soit directement dans les carnaux principaux des cheminées.

Digitized by Google

Tuyauterie. — La tuyauterie principale pour la vapeur surchauffée est en acier étiré et forme une boucle fermée dont une moitié contient toutes les vannes de manœuvre et l'autre moitié sert à fermer le circuit lorsqu'une partie quelconque de la tuyauterie est inactive pour réparation.

Un jeu de vannes permet de supprimer n'importe quelle machine ou chaudière ou partie de tuyauterie, tout en laissant les autres appareils en pression.

Les mouvements de dilatation de la tuyauterie sont assurés par deux emmanchures à bourrage.

Un réseau complet de tuyauteries accessoires assure l'alimentation des chaudières au moyen de l'eau provenant de la vapeur condensée ou bien au moyen de l'eau de la distribution publique; d'autres tuyauteries assurent les purges, etc.

Une conduite spéciale amène de la vapeur saturée à la machine à vapeur de l'excitatrice.

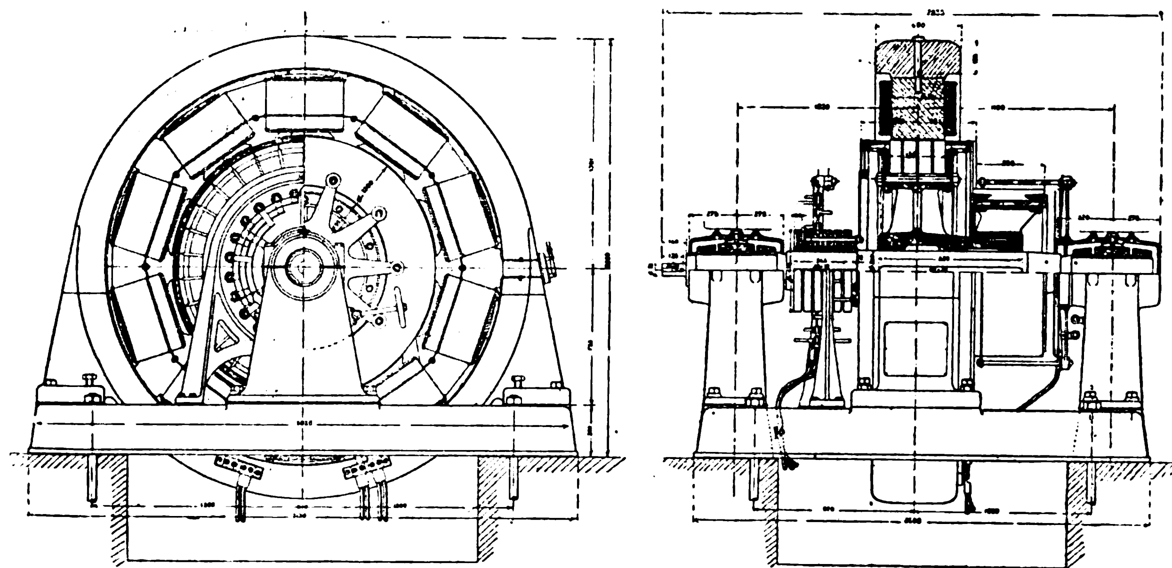


Fig. 12 et 13. — Commutatrice hexaphasée. 550 kilowatts, 410 volts alternatifs et 550 volts continu.

Transport de charbon. — Un ensemble de dispositifs mécaniques mis en mouvement par des moteurs à courant continu, 110 volts, assure le déchargement des bateaux ou des wagons, la mise en soute du combustible, le transport du charbon devant chaque chaudière ainsi que l'enlèvement des cendres des foyers.

Ces dispositifs sont essentiellement les suivants :

Une benne, contenant environ 500 kg de charbon, est suspendue à une potence montée sur une grande tour métallique et descend dans les bateaux au moyen d'un cabestan. La benne remplie est remontée au moyen du même cabestan et se déverse dans une trémie. De cette trémie le charbon passe, s'il y a lieu, par un concasseur et est déversé sur une courroie sans fin qui longe toute la partie supérieure des silos.

Dans cette courroie est intercalé un chariot qui peut être arrêté en un point quelconque et assure le déversement du charbon à l'endroit voulu.

Un dispositif intermédiaire permet d'enregistrer automatiquement le poids de charbon introduit dans les soutes.

Les silos ont la forme de pyramides renversées.

Digitized by Google

En dessous de ces pyramides règne une galerie où est logée une rigole qui reçoit un mouvement saccadé dans le sens longitudinal.

Lorsqu'on ouvre l'orifice inférieur d'une des soutes, le charbon tombe dans la rigole et est, petit à petit, amené à une courroie sans fin qui va jusqu'au sous-sol de la chaufferie. De l'extrémité de cette courroie le charbon tombe dans les godets d'une chaîne sans fin qui fait le tour de la chaufferie dans un plan vertical. Les godets de cette chaîne peuvent être déversés devant n'importe quelle chaudière dans les trémies qui ont une capacité correspondant à 6 heures de marche en pleine charge. Cette même chaîne à godets, passant dans les sous-sols de la chaufferie, sert à prendre les cendres et à les déverser dans les wagonnets au moyen desquels elles sont parquées dans une partie accessoire des soutes à charbon.

II. **Sous-Stations**. — Comme il a été dit, les installations des Tramways Bruxellois comprennent trois sous-stations qui alimentent chacune séparément une partie du réseau. Les trois parties du réseau sont isolées électriquement.

Le plan (fig. 11) donne le réseau complet des Tramways Bruxellois et indique la position des trois sous-stations. Il était tout naturel de placer des sous-stations dans les deux anciennes usines pour pouvoir utiliser sans modifications de nombreux câbles à basse tension, qui partent de ces usines pour l'alimentation des lignes équipées avant la création de l'usine centrale. Une troisième sous-station, située à proximité de la gare du Nord, est destinée à alimenter toutes les lignes au Nord, Nord-Est, Nord-Ouest de la ville.

Les trois sous-stations : A. (rue Brogniez); B. (Ixelles); C. (gare du Nord), sont ainsi disposées en un triangle, dont le centre correspond sensiblement au centre du réseau à alimenter.

A part le nombre de commutatrices, les trois sous-stations ne diffèrent guère entre elles.

La sous-station A comprend cinq commutatrices hexaphasées, à 410 volts alternatifs et 550 volts continu (fig. 12 et 13). La puissance de ces unités est de 550 kilowatts. A chaque commutatrice correspondent trois transformateurs statiques de 200 kilowatts pouvant réduire la tension primaire de 6 600 volts à 410. L'extrémité de chaque secondaire est connectée à deux points de l'induit, diamétralement opposés.

Le rendement des commutatrices a été trouvé de 94 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$. Elles peuvent supporter une surcharge de 50 p. 100 pendant une demi-heure. L'excitation est compound.

Les transformateurs statiques sont refroidis par circulation d'air au moyen de ventilateurs; leur rendement est de 98 p. 100 pour $\cos \varphi = 1$. Ils peuvent supporter la même surcharge que les commutatrices.

Le démarrage des convertisseurs se faisant normalement du côté continu; il y a à cet effet, dans chaque sous-station, un groupe de démarrage, composé d'un moteur asynchrone à 6 600 volts attaquant une dynamo à courant continu à 550 volts, de 75 kilowatts.

Une batterie de 60 ampères-heure et 500 volts, est mise en parallèle avec le groupe de démarrage, comme tampon, et lui sert éventuellement de réserve. Cette batterie fournira l'éclairage des dépôts et l'énergie nécessaire pour les quelques manœuvres à faire dans la nuit.

La sous-station A est alimentée par trois câbles triphasés dont la section est de 3×85.

La sous-station B par deux câbles de 3×60.

La sous-station C par trois câbles de 3×85.

Les feeders, pénétrant dans les sous-sols, passent d'abord par les petits transformateurs

Digitized by Google

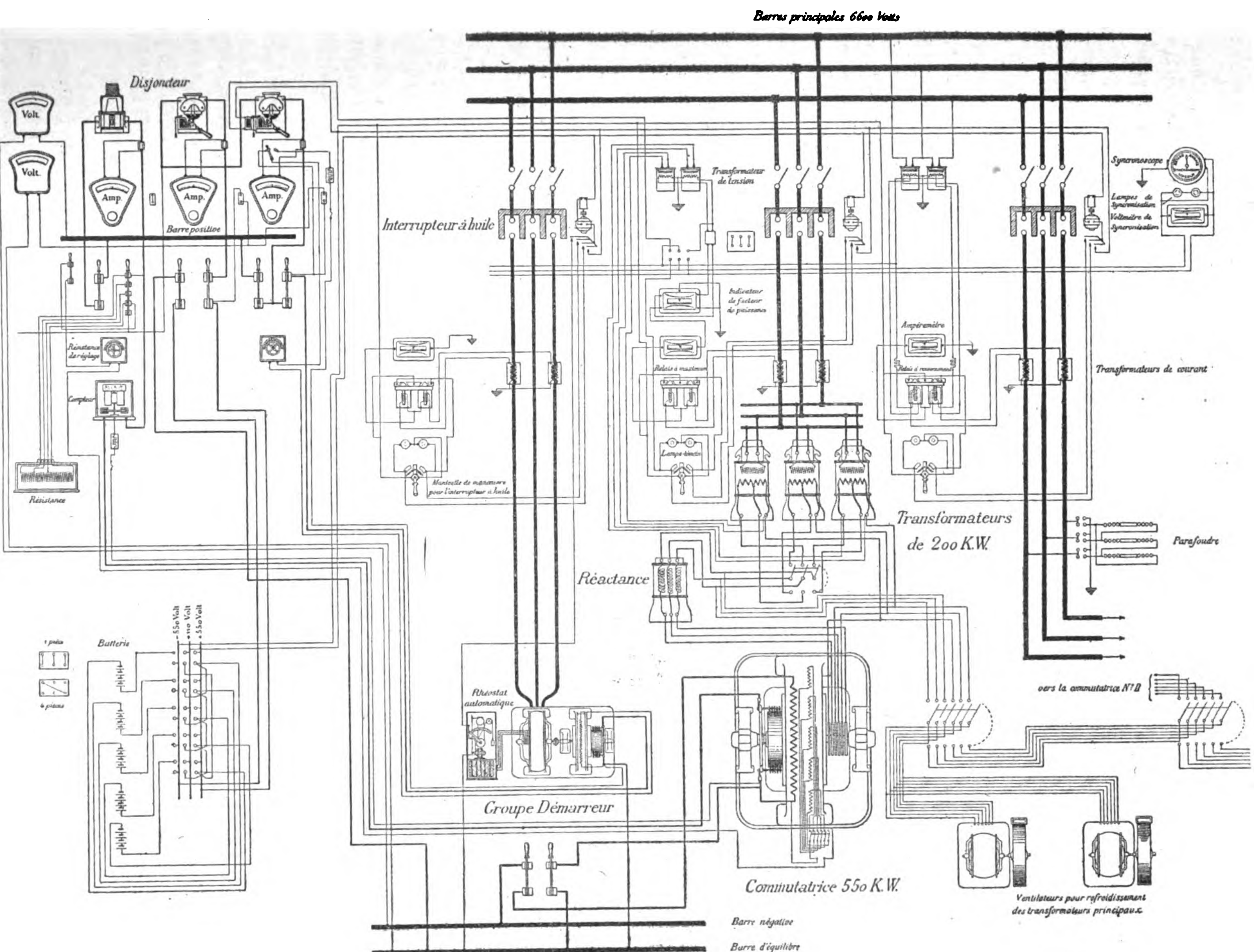


Fig. 14. — Schéma de l'installation d'une sous-station.

auxiliaires pour les appareils, vont aux interrupteurs à huile et de là aux barres principales (fig. 17).

A ces barres, sont branchées autant de dérivations qu'il y a de commutatrices. Chaque dérivation à trois phases passe par un interrupteur à huile et va à des barres auxiliaires sur lesquelles sont branchées les primaires des trois transformateurs statiques correspondant à une commutatrice.

Les secondaires de ces transformateurs vont aux balais du côté alternatif de la commutatrice. Une réactance, en série avec les secondaires, produit une force électromotrice de self-induction qui fait entrer en jeu l'action du compound des commutatrices.

En vue de pouvoir faire démarrer les commutatrices du côté alternatif, les secondaires des transformateurs sont sectionnés; on peut, de la sorte, appliquer un voltage réduit qui évite les à-coups de courant. Pour obtenir ce sectionnement, il existe entre chaque groupe de transformateurs, un commutateur à trois touches, placé vers le haut pour le secondaire à 410 volts et vers le bas pour le secondaire sectionné (voir schéma, tableau).

Le tableau des sous-stations comprend un panneau par feeder, un panneau pour le moteur asynchrone du groupe démarreur; un panneau par commutatrice côté alternatif haute tension, un panneau courant continu pour la batterie, un panneau pour le démarreur (côté continu) et enfin un panneau par commutatrice côté continu.

Chaque panneau des feeders comprend :

Un ampèremètre ;

Un petit interrupteur 110 volts continu pour le servo moteur de l'interrupteur à huile;

Un relais à renversement pour isoler entièrement et automatiquement un câble qui viendrait à être terré en un point quelconque de son parcours.

Le panneau du démarreur (côté alternatif) comprend :

Un ampèremètre;

Un interrupteur 110 volts continu pour le servomoteur avec relais à maximum.

Les panneaux pour commutatrices (côté alternatif) comprennent un phasemètre, un ampèremètre, un interrupteur 110 volts continu pour le servomoteur avec relais à maximum et un commutateur de synchronisation.

Le panneau de la batterie comprend un ampèremètre et un interrupteur à minima.

Le panneau du démarreur (côté continu) comprend un ampèremètre et un interrupteur automatique qui doit toujours déclencher au moment de la fermeture du circuit alternatif de la commutatrice lorsque celle-ci est en vitesse et en phase.

Les panneaux des commutatrices (côté continu) comprennent un ampèremètre, un compteur, un interrupteur automatique, un interrupteur de démarrage avec plusieurs contacts dont chacun est relié à un point du rhéostat et le régulateur de l'excitation.

En outre, à chaque tableau des sous-stations est annexé un synchronoscope Lincoln et un voltmètre général pour les barres du courant continu.

Dans les sous-stations, les feeders à haute tension peuvent, comme à la centrale, être mis, au moyen d'interrupteurs à couteaux, en communication avec les parafoudres ou avec la terre.

Les moteurs des ventilateurs peuvent être connectés au moyen de petits interrupteurs à six touches, disposés en cascade, sur le secondaire de n'importe quel groupe de transformateurs.

Les barres collectrices du courant continu à 550 volts sont reliées aux barres de tableaux spéciaux où aboutissent les feeders de distribution alimentant les différentes lignes ou groupes de lignes.

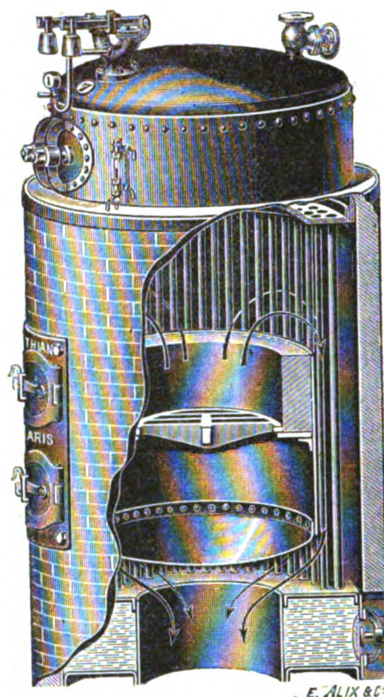
J. Reyval.

Digitized by Google

GÉNÉRATEUR MULTITUBULAIRE VERTICAL C. MATHIAN

Dans l'installation des usines génératrices d'électricité de faible puissance, le choix du générateur de vapeur est toujours des plus délicats. Gêné par les règlements de police lorsque l'installation est dans le voisinage immédiat de locaux habités, ce qui est presque constamment le cas dans les usines de ce genre, ne disposant en outre que d'un emplacement généralement exigu, l'ingénieur électricien chargé de l'installation se trouve fort embarrassé pour la production de la vapeur dans des conditions économiques. Certes les constructeurs de chaudières ont tenu compte de ces difficultés, et nombreux sont les types de générateurs imaginés en vue de les surmonter. Mais malgré l'ingéniosité dépensée, le rendement de ces appareils est toujours relativement peu élevé et pour peu que le chauffeur chargé de leur conduite ne suive pas à la lettre les recommandations complexes que lui donne le constructeur la consommation de charbon devient déplorable.

Tout générateur nouveau, mais ayant cependant subi l'épreuve décisive de la pratique, construit dans le but de répondre aux nombreux desiderata des ingénieurs-électriciens, ne peut donc manquer d'intéresser nos lecteurs. C'est ce qui nous engage à décrire brièvement ici le générateur vertical multitubulaire de la maison C. Mathian et Cie, en indiquant ensuite les avantages que ses constructeurs réclament en sa faveur.



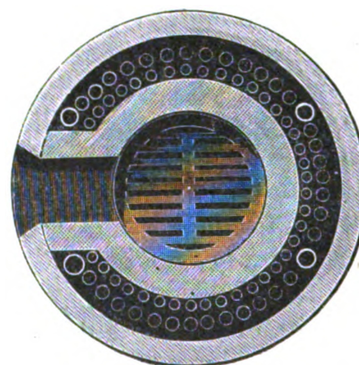


Fig. 1.
Les flèches indiquent la circulation des gaz de la combustion.

Ce générateur se compose, comme le montrent les figures 1 et 2, d'un grand récipient ou corps supérieur, formant chambre de réserve d'eau ou de vapeur, d'un second récipient ou corps inférieur servant de réchauffeur d'eau et de récepteur de boues, et enfin d'un faisceau annulaire de tubes verticaux, disposés sur une ou plusieurs rangées suivant la puissance de la chaudière, réunissant les deux corps.

Dans l'espace cylindrique limité par les tubes est placé un foyer-cendrier, constitué par une grille et par une sorte de cuvette.

Le tout, formant une seule masse indivisible, repose sur une assise en maçonnerie; une murette en brique de 22 cm ou 35 cm d'épaisseur, ou une simple enveloppe calorifuge entoure l'appareil.

Les gaz de combustion suivent le trajet indiqué par les flèches : on remarque qu'après avoir traversé le faisceau cylindrique des tubes, ils descendent le long de ces tubes et passent par l'ouverture centrale du réchauffeur d'eau pour se rendre ensuite à la cheminée.

Ainsi qu'on le voit, la construction de ce générateur est des plus simples : pas de boîtes

Digitized by Google

à tubes avec tampons compliqués comme dans beaucoup de chaudières multitubulaires, pas de pièces de raccords du cuissards, pas de magasin de vapeur séparé, pas de récepteur spécial de boues.

D'autre part, malgré cette simplicité, la surface de chauffe est, sous un volume réduit, relativement considérable. Ainsi une chaudière Mathian produisant 225 kg de vapeur à l'heure n'occupe, enveloppe en briques comprise, qu'un volume de 4,5 m^3; une chaudière donnant 1 700 kg à l'heure a un volume de 28 m^3 environ, soit à peu près le tiers du volume moyen d'une chaudière multitubulaire à tubes d'eau inclinés de même puissance. Avec une enveloppe calorifuge, au lieu d'une enveloppe en briques, le volume est d'ailleurs encore considérablement réduit.

Cette grande rapidité de la vaporisation d'eau est due à la disposition du foyer au milieu du générateur, au faible diamètre des tubes, au parfait refroidissement des gaz qui, par suite de leur marche renversée, ne forment pas de veines de courant, et enfin à la bonne conductibilité calorifique des tubes lesquels, étant verticaux, ne peuvent se recouvrir d'amas de suie interceptant le passage de la chaleur.

D'autre part il est à remarquer que la circulation de l'eau dans les tubes est nécessairement inverse de la circulation des gaz; il en résulte une excellente utilisation de la surface de chauffe, et en marche normale on obtient une vaporisation de 15 à 25 kg d'eau par mètre carré de surface de chauffe selon la puissance des chaudières.

Quant à la dépense de combustible elle descend, dans les grandes chaudières, à 1 kg environ de charbon pour 10 kg de vapeur produite.

La grande hauteur donnée au récipient supérieur, hauteur qui peut d'ailleurs être augmentée sur demande, permet d'avoir une réserve d'eau et de vapeur considérable; de plus la prise de vapeur se trouve ainsi éloignée de la surface d'ébullition et les entraînements d'eau ne sont pas à redouter.

La conduite du feu ne présente pas non plus de difficultés : le foyer étant petit son alimentation ne constitue pas un service pénible; d'autre part le décrassage de la grille est facile surtout si on a soin de maintenir toujours de l'eau dans le cendrier; les coups de feu ne sont pas à craindre, les tubes ne pouvant manquer d'eau, par suite de leur disposition verticale, quelle que soit l'intensité du foyer.

En raison même de la facilité de la conduite, les réparations sont rares; le changement du tube défectueux est d'ailleurs possible sans qu'il soit nécessaire d'enlever les autres.

Quant à l'entretien il se borne au nettoyage et au ramonage des tubes. Pour le nettoyage il suffit souvent de retirer, par un trou d'homme dont est muni le corps inférieur, les boues qui se sont accumulées dans ce récipient, par suite de la verticalité des tubes; si les tubes eux-mêmes ont besoin d'un nettoyage interne on y procède au moyen de brosses métalliques à manche articulé que l'on introduit par le corps supérieur. Le ramonage de l'extérieur du faisceau tubulaire se fait par des tampons ménagés dans l'enveloppe de briques ou en enlevant quelques panneaux de l'enveloppe calorifuge; on ramone l'intérieur en pénétrant dans le foyer qui a, même dans les petits modèles, des dimensions suffisantes; on a aussi accès sous le cendrier dans les grandes chaudières.

La mise en place de ces générateurs est aussi des plus simples. Les chaudières étant montées complètement à l'atelier et pouvant être transportées d'une seule pièce, même celles de 3 000 kg de vapeur à l'heure, par chemin de fer, il n'y a pas lieu de s'occuper du montage. Comme il n'y a pas de carneaux, la maçonnerie se réduit à une base cylindrique et au mur d'enveloppe.

Grâce à ces diverses qualités les générateurs Mathian ont triomphé de la défaveur qui

Digitized by Google

pesait depuis quelques années sur les chaudières verticales, défaveur en partie motivée par le faible rendement de ces chaudières et les nombreuses réparations qu'elles exigent, inconvénients graves qui ont été évités, comme nous l'avons vu, dans les chaudières Mathian.

T. PAVSERT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Machine à vapeur Lefèvre à quatre cylindres à double ou à triple expansion. *Revue industrielle*, t. XXXVI, p. 314, 8 août 1903.

Cette machine à vapeur, dont la construction vient d'être entreprise par M. Fryer et Cie, présente cette particularité intéressante de pouvoir fonctionner à triple expansion ou à double expansion, ce dernier fonctionnement pouvant s'effectuer de deux manières différentes ; il en résulte une grande élasticité de la puissance de la machine avec marche économique.

Les figures 1 à 4 représentent le type fixe et le type à changement de marche ; il est construit un troisième type spécial pour automobiles.

Chacun de ces types consiste en quatre cylindres à simple effet, placés en croix dans un même plan perpendiculaire à l'axe de rotation ;

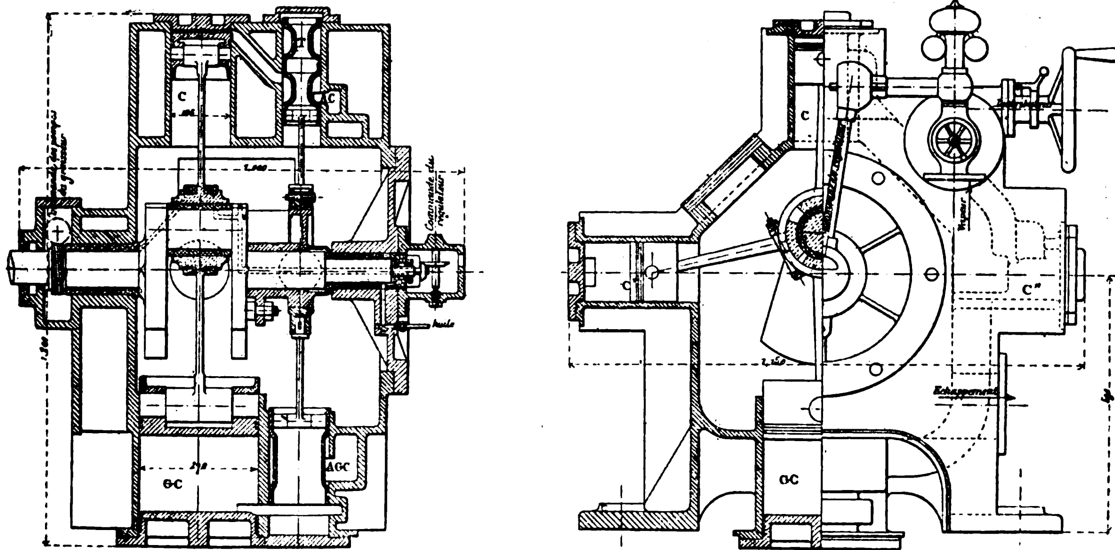


Fig. 1 et 2. — Machine Lefèvre, type fixe.

leurs pistons sont attelés directement à un seul et même bouton de manivelle par des bielles dont les têtes forment des segments assemblés autour de ce bouton par deux colliers. Dans ces conditions il va de soi que les axes de ces cylindres font entre eux un angle de 90°.

Trois de ces cylindres C, C', C'', ont le même diamètre ; celui du quatrième GC est le double des autres. Tous sont pourvus d'un tiroir cylindrique de distribution auquel le mouvement est communiqué par un excentrique unique qui, dans le type fixe, est assemblé par une oreille avec le bras voisin de la manivelle motrice.

Un distributeur spécial D représenté dans les figures 5 et 6 est manœuvré à la main, au moyen d'un volant commandant un mécanisme à crémaillère, de façon à occuper trois positions distinctes qui correspondent chacune à l'un des

Digitized by Google

genres de marche indiqués plus haut. Ce distributeur n'est autre chose qu'un tiroir cylindrique portant deux cavités de longueurs inégales *a* et *e* qui mettent en communication de différentes manières les lumières de canaux desservant les cylindres. Suivant la position qu'il occupe, la vapeur de la chaudière est admise dans un, deux ou trois cylindres, et détendue dans les autres, de sorte que la puissance développée est très variable. Les dispositions imaginées à cet égard par M. Lefèvre sont particulièrement ingénieuses. Nous allons les étudier.

La vapeur vive arrive dans la boîte du distributeur D qui, par une tuyauterie interne non figurée, communique toujours avec la lumière AC (fig. 1), permettant au tiroir cylindrique T d'admettre cette vapeur dans le cylindre C. Après avoir accompli son travail dans ce cylindre, elle est conduite par la gorge supérieure du tiroir T et le canal EC (fig. 6) dans la cavité *a* du distributeur D qui, par les canaux AC′ et AC″, permet à cette vapeur d'aller successivement se détendre dans les deux cylindres C′ C″, lorsque leurs tiroirs respectifs en ouvrent l'admission.

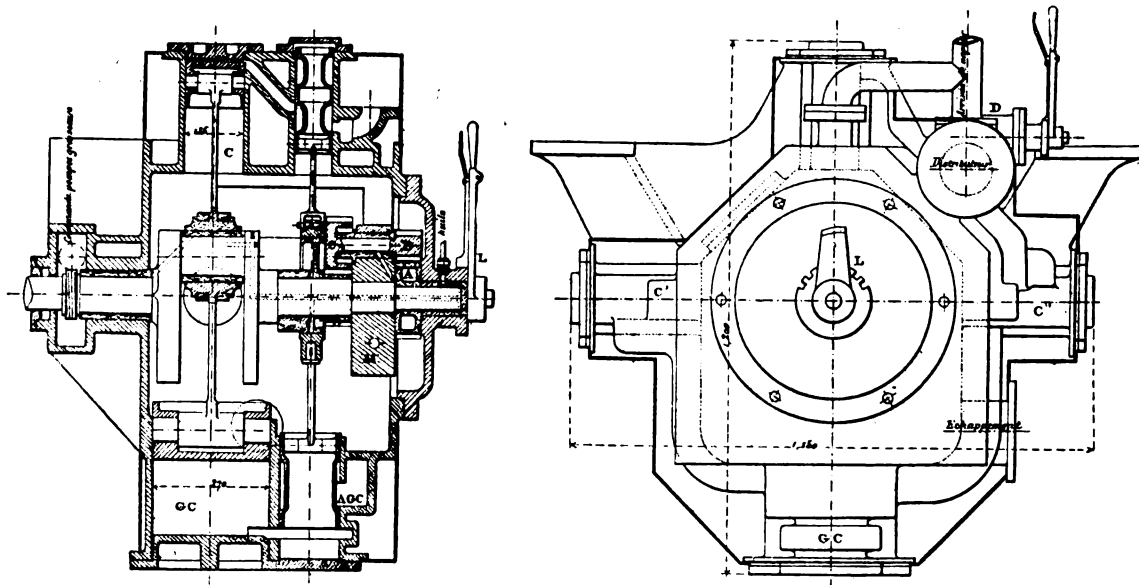


Fig. 3 et 4. — Machine Lefèvre, type à changement de marche.

En second lieu, par un canal ménagé de fonte dans le bâti, le tiroir du cylindre C′ en échappe toujours la vapeur dans le conduit A G C d'admission au grand cylindre, de sorte que, pour aller achever sa détente dans ce dernier, elle ne passe pas par le distributeur D; au contraire, celle du cylindre C″ est dirigée par la lumière d'échappement E C″ et par la cavité *e* de ce distributeur, dans le même conduit A G C du grand cylindre ; enfin, toute la vapeur de ce dernier s'échappe par l'intérieur de son tiroir cylindrique dans le socle de la machine et de là, par une tubulure spéciale à l'air libre ou au condenseur. C'est la marche à triple expansion ; elle convient pour les faibles charges et se prête à la meilleure utilisation de la vapeur.

Maintenant, si l'on déplace le distributeur D de telle façon que sa bande A coïncide avec la cloison B du boisseau, on obtient la première combinaison de la marche en compound. En effet la vapeur vive ne se rend plus seulement dans le cylindre C comme précédemment, mais elle pénètre aussi au moment convenable dans le cylindre C′ par la lumière découverte A C′ ; après avoir travaillé à pleine pression, cette vapeur va se détendre dans le troisième petit cylindre C″ et le grand cylindre G C en passant par la coquille *a* qui met l'échappement E C en relation avec les lumières AC″ et A G C ; comme dans le cas précédent le grand cylindre communique par un conduit spécial avec l'échappement du deuxième cylindre C′, tandis que l'évacuation finale de la vapeur qui a achevé son travail dans le cylindre C″, s'effectue, dans ce

Digitized by Google

cas seulement, par la cavité *e* qui met en relation les orifices E C″ et E′ C″. Dans cette marche, la puissance développée est notablement supérieure à la précédente ; mais le coefficient d'utilisation économique de la vapeur est moindre.

Enfin, si l'on ramène la bande A du distributeur sur la cloison C de sa glace, on réalise la deuxième combinaison compound, dans laquelle la puissance du moteur est maximum. L'admission de la vapeur vive se fait dans les trois petits cylindres sans l'intervention du distributeur pour le premier et par les lumières découvertes AC′ et AC″ pour les deux autres. Après avoir effectué un premier travail, elle se rend à la sortie de ces trois cylindres dans le grand par le canal A G C qui communique toujours directement avec C′ et que la coquille *a* met en relation avec les orifices E C et E C″.

Le distributeur de cette machine permet donc d'obtenir sans changer de pression de la vapeur, ni la vitesse de rotation, une marche : 1° à triple expansion avec introduction unique ; 2° à double détente et double introduction et 3° à double détente et triple introduction ; c'est la marche dite forcée, développant trois fois la puissance de la première. L'élasticité de puissance de cette machine est donc remarquable.

Dans le type fixe servant à la commande des dynamos, ventilateurs, pompes centrifuges, chacune de ces marches est soumise à l'action régulatrice d'une valve équilibrée à papillon, placée sur la conduite de vapeur en avant du distributeur et actionnée par un régulateur à grande vitesse. Cette valve passe de la position d'ouverture maximum à la fermeture complète pour un écart de vitesse de 3 p. 100, soit 1 1/2 en plus et en moins de l'allure normale. Comme on le voit figures 1 et 2, ce régulateur est commandé par des engrenages coniques, et un arbre intermédiaire représenté obliquement pour la clarté du dessin, mais, en fait, établi verticalement. Tout cet ensemble, sans en excepter aucune partie, est mis, par des enveloppes en fonte ou en fer, à l'abri des poussières et des chocs de corps étrangers. Il en est de même pour les organes de mouvement travaillant dans le socle. Aussi a-t-on recours au graissage forcé, celui-ci s'effectue automatiquement au moyen de deux pompes mises en jeu par un engrenage hélicoïdal adapté à l'arbre à manivelle : l'une satisfait au graissage forcé à haute pression dans la vapeur et l'autre fonctionne à 3 kg : cm² pour la lubrification des mécanismes.

Les dimensions de cette machine ont été calculées pour travailler avec de la vapeur vive à 14 kg : cm². Voici les données sur le type fixe :

Diamètre des petits cylindres	135 mm
— du grand cylindre	270 —
Course commune	160 —
Nombre de tours normal	675 —
Puissance à triple expansion	50 chevaux
— en 1er compound	75 —
Puissance en 2e compound à marche forcée	125 —

Ces puissances correspondent à la marche à l'échappement libre ; on obtiendrait encore davantage en travaillant à condensation.

Le type pour canots et voitures automobiles, représenté figures 3 et 4, ne diffère du précédent que par l'adjonction d'un mécanisme de changement de marche simple et ingénieux.

Au lieu d'être rigidement relié à l'arbre à manivelle, l'excentrique de distribution y est fou et il porte, venu de fonte, un pignon droit D engagé avec un autre C de même diamètre, dont l'axe est solidaire d'un bras diamétral à masse d'équilibre M calé sur l'arbre à manivelle. Ce pignon B engrène avec une roue A de diamètre double, folle sur ce dernier, mais assujettie au levier de changement de marche L. En raison de l'emploi de ces engrenages à satellite, l'excentrique de distribution tourne à la même vitesse que l'arbre principal, mais en sens contraire. Une fois que son angle de calage a été déterminé, on peut en modifier la grandeur et la position relative, en déplaçant le levier de changement de marche L, ce qui permet soit de changer la durée de l'admission, soit de renverser le sens de la marche ; il convient de faire remarquer que ce résultat est obtenu sans l'emploi d'organes animés d'un mouvement alternatif.

En raison du mode de fonctionnement de cette machine, son démarrage est assuré dans toutes les positions de la manivelle ; c'est pourquoi on a pu limiter la période d'admission à 50 p. 100 tout en se ménageant une compression suffisante pour qu'au rebroussement des pistons elle absorbe leur force vive et permette de rapides allures sans chocs.

Ces propriétés jointes à l'élasticité de puissance que procurent les trois marches de ce

Digitized by Google

moteur sont particulièrement précieuses pour les applications aux voitures automotrices, dont le service exige naturellement des arrêts et des démarrages fréquents. L'arbre à manivelle attaque l'essieu au moyen d'un simple engrenage. L'équilibre de toutes les pièces en mouvement, la facilité de pose, de visite et de démontage de ce moteur, l'absence de presse-étoupe ne manqueront pas d'être appréciées ; enfin, sa compacité permet de donner une grande rigidité au bâti sans exagérer les poids.

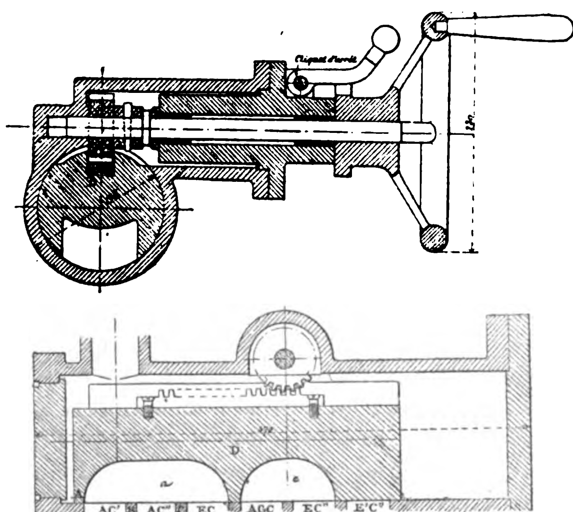


Fig. 5 et 6. — Coupe longitudinale et transversale par l'axe du distributeur.

Il était intéressant de savoir comment se comporte cette machine suivant que l'admission se fait, dans 1, 2 ou 3 petits cylindres. Le coefficient d'uniformité du cycle se trouverait-t-il gravement affecté dans l'une ou l'autre de ces trois marches ?

Pour s'en rendre compte, M. Lefèvre a calculé dans chaque cas, la résultante de tous les efforts tant positifs que négatifs qui s'exercent sur les 4 pistons durant une course aller et retour du piston P C correspondant à un tour de manivelle, et il l'a rapportée tangentiellement au rayon de la manivelle. La course aller du piston a été divisée en dix parties égales allant de O à O' et celle du retour également en dix parties allant de O' à O (fig. 7 à 9). Les ordonnées élevées en ces points représentent les efforts moteurs tangentiels produits aux moments considérés et la ligne qui les joint permet d'en apprécier les fluctuations durant une course complète du piston. Au-dessus de la ligne des abcisses est tracée une parallèle à une distance correspondant à la résistance tangentielle que déterminerait la charge supposée constante de la machine ; la surface comprise au-dessus de cette ligne représente le travail en excès qui doit être emmagasiné par la masse des pièces mobiles puis restitué de façon à combler le déficit accusé par la surface formée au-dessous de cette ligne.

Si T est la somme des travaux excédants et R la valeur des résistances tangentielles, le coefficient d'uniformité $\frac{R}{T}$ atteint dans la marche avec :

Admission dans 1 petit cylindre	(fig. 7)	:	4,89
— 2 —	(fig. 8)	:	5,14
— 3 —	(fig. 9)	:	5,66

L'écart entre les deux marches extrêmes n'est que de 13 p. 100 ; on peut donc dire que le coefficient de régularité de la machine n'en sera pas, dans la pratique, sensiblement affecté d'autant plus que la masse des organes de l'appareil conduit, dynamo, pompe, ventilateur, tend à uniformiser la marche à un degré qui peut être suffisant pour éviter l'emploi d'un volant.

La machine n'a pas de point mort ; l'effort est toujours positif, sauf dans la marche n° 2 pendant un court intervalle de temps à la fin de la course avant et au commencement de la course arrière ; mais rien n'est plus facile que de démarrer avec la troisième marche.

Des essais de puissance et de consommation avec la marche à triple expansion ont été entrepris soigneusement en mai dernier sur une machine Lefèvre, par M. Maréchal, ingénieur en chef de l'Association normande des propriétaires d'appareils à vapeur, assisté de M. Laboureur, ingénieur des arts et manufactures.

La machine avait les dimensions suivantes :

Diamètre des petits cylindres	0,060 mm
— du grand cylindre	0,120 —
Course commune	0,070 —

La vapeur ayant traversé la machine était condensée dans deux appareils « Row », l'eau produite s'écoulait à l'air libre dans un bassin où elle était pesée.

La machine actionnait directement une dynamo Edison de 100 ampères prêtée par la Société Normande d'Electricité.

La charge obtenue à l'aide d'un tableau de

Digitized by Google

lampes à incandescence a été constante pendant la durée de l'essai.

Les poids d'eau ont été relevés toutes les 15′

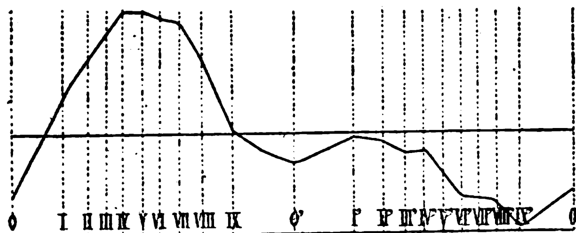


Fig. 7. — Marche à triple expansion. Admission dans un petit cylindre.

ainsi que les nombres des volts et ampères; quatre fois dans la journée les indications des appareils de mesure ont été contrôlées à l'aide d'appareils de précision.

Durée de l'essai.	7 h
Poids de l'eau dépensée pendant l'essai.	633 kg
— — par heure. . .	90,128
Pression à la chaudière	11,28
Nombre de tours par minute.	1,230
— d'ampères	15,4
— de volts	106
— de kilowatts	1,632
Consommation de vapeur par kilowatt.	55,410
— — par heure et par cheval aux bornes	40,788

Une fois le rendement du groupe électrogène déterminé, M. Maréchal fit le tarage au frein de la machine et de la dynamo.

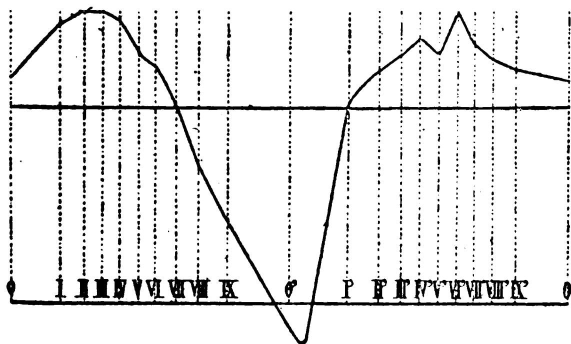


Fig. 8. — Marche à double expansion. Admission dans deux petits cylindres.

Pour cette dernière il a supposé, ce qui est sensiblement exact, que son rendement était le même en génératrice qu'en réceptrice, et il l'a fait tourner à différentes allures en recueillant la force disponible à l'aide d'un frein à corde. Son rendement dans les conditions de charge de l'essai de consommation de la machine a été trouvé de 52 p. 100 (ce qui s'explique, car elle ne travaillait qu'à 1/8 de charge). Comme le rendement de la machine s'élevait à 59,54 p. 100, le rendement total était donc de $52 \times 59,54 = 30,96$ p. 100. Ce qui donne pour le travail effectif de la machine :

$$\frac{2,217}{0,52} = 4,263 \text{ chevaux}$$

et pour le travail indiqué sur les pistons :

$$\frac{2,217}{0,3096} = 7,160 \text{ chevaux}$$

La machine ayant été installée provisoirement pour ces essais, on n'avait pas mis de sécheur de vapeur et la tuyauterie n'était pas garnie d'un

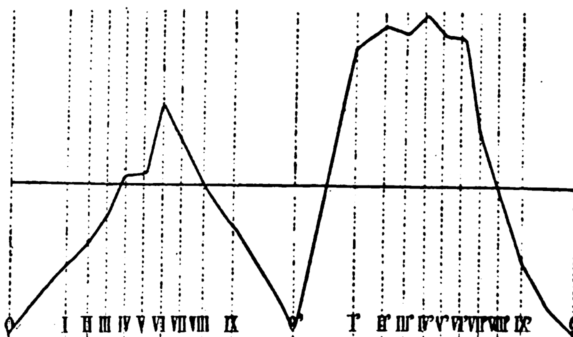


Fig. 9. — Marche à double expansion. Admission dans trois petits cylindres.

calorifuge. M. Maréchal estime être au-dessous de la vérité en évaluant à 1 p. 100 la quantité d'eau entraînée par la vapeur à son arrivée à la machine.

En tenant compte de cette correction, on obtient pour :

La consommation en chevaux indiqués . . .	12500 kg
— — effectifs. . . .	21

M. Maréchal ne s'est pas borné à faire des essais de consommation et de rendement, il a voulu aussi déterminer quelle élasticité de puissance procuraient les trois modes de fonctionnement de la machine. Il a obtenu les résultats suivants, avec la même vitesse et la même pression à la chaudière.

ADMISSION dans	KILO-WATTS	CHEVAUX effectifs.	CHEVAUX indiqués.	RENDEMENT mécanique.
				p. 100
1 cylindre . .	1 632	4 263	7 160	59,54
2 cylindres . .	4 368	8 934	11 831	75,51
3 cylindres . .	5 117	9 861	12 758	77,29

Digitized by Google

Dans la marche à trois cylindres, le refroidisseur était insuffisant ; aussi y avait-il une contre-pression très forte, la vapeur d'échappement chassant l'huile des appareils de graissage.

M. Maréchal a conclu en disant qu'il est tout à fait remarquable d'une part, qu'un moteur d'aussi faible puissance descende à une consommation aussi réduite, et d'autre part, qu'avec une distribution fixe et une pression d'admission constante, on obtienne une aussi grande élasticité dans la puissance.

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

Procédé Harrisson et Day pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre. Brevet français n° 314 290, du 26 décembre 1901.

Dans ce procédé, les inventeurs ont rassemblé diverses améliorations, déjà connues nous semble-t-il, à l'effet d'obtenir une couche bien homogène. Voici la description qu'en donne le *Moniteur Scientifique* de juillet 1903 (4e série, t. XVII, p. 117) :

Procédé ayant pour but d'obtenir un dépôt électrolytique lisse et homogène sans la formation de bosselures, consistant à employer une cathode présentant un beau poli de section circulaire montée verticalement dans une cuve de dépôt, et libre de tourner sur son axe, et l'on fait tourbillonner l'électrolyse au moyen de jets de nouvel électrolyte, car c'est à cause de l'appauvrissement de la couche d'électrolyte, en contact avec la cathode, par un courant à haute tension, agissant pendant une période de temps prolongée, sans renouvellement de cette couche appauvrie, qu'il se fait un dépôt de métal de mauvaise qualité, le jet frappant tangentiellement la cathode. En outre, comme l'on se trouve dans les conditions les plus favorables à l'électrolyse, si la pression osmotique des ions dans l'électrolyte de la matière à dissoudre est aussi faible que possible, et si, par conséquent, la solution est aussi peu concentrée que possible dans le voisinage de l'anode, tandis que la pression osmotique des ions de la matière à déposer doit être aussi concentrée que possible dans le voisinage de la cathode, on obtient ces résultats à la cathode par l'introduction continue d'électrolyte nouveau, et en faisant échapper au delà de l'anode l'électrolyse appauvri sans revenir à la cathode avant d'avoir été ramenée à la force normale. Enfin, plus l'anode est éloignée, plus la différence de potentiel doit être considérable, et plus, par conséquent, la tension du courant employé doit être grande. Si l'on veut marcher économiquement et qu'on ne se trouve pas dans ce cas particulier d'avoir la force à un prix insignifiant. En élevant la température de l'électrolyte, on réduira la résistance de la cuve de dépôt et on diminuera aussi la différence de potentiel nécessaire. Il est avantageux, dans la plupart des cas, d'employer une solution aussi concentrée que possible, et, lorsqu'elle sera acidulée, de la rendre très acide, en évitant toujours que sa concentration soit telle que sa cristallisation soit à craindre à l'anode. Ainsi pour le dépôt de cuivre il sera avantageux d'employer une solution d'environ 180 à 190 gr de sulfate de cuivre hydraté et 110 à 120 cm³ d'acide sulfurique par litre.

Sur l'électrométallurgie des ferro-siliciums, par **Albert Keller**. Extrait d'une communication faite à l'Iron and Steel Institute, le 8 mai 1903.

Dans cette communication, intitulée « Contribution à l'étude du rôle du four électrique dans la métallurgie », M. A. Keller, de la compagnie électrothermique Keller, Leleux et Cie, rappelle brièvement les essais tentés en vue de l'application du four électrique à l'électrométallurgie et développe ensuite l'application qui en a été faite à la fabrication des ferro-siliciums, à celle du fer et de l'acier, et enfin à celle du cuivre. Résumant ci-dessous [1] les considéra-

[1] Jusqu'à ces dernières années, les fours électriques furent réservés presque exclusivement à la fabrication des corps dits « réfractaires » que l'insuffisance de la température réalisée dans les fours ordinaires ne permettait pas d'obtenir (fabrication du carbure de calcium, du carborundum) ou à la fabrication des corps nécessitant l'intervention du courant électrique comme agent de décomposition (aluminium, par exemple).

La crise du carbure de calcium fit chercher un emploi plus rémunérateur aux fours destinés à cette fabrication. Légèrement modifiés, ces fours servirent à la fabrication de certains ferro-chromes dans lesquels une dose de carbone atteignant 7 à 8 p. 100 est admise. La réalisation de cette fabrication au cubilot était en effet très difficile et il arrivait assez souvent que le cubilot engorgé devait être démoli, si bien que, dans certaines usines, on créa des cubilots mobiles et facilement démontables, permettant lors de l'engorgement, de dégager assez facilement la masse du ferro-chrome solidifiée qui était ensuite débitée. Le four électrique permettant d'obtenir une température élevée était donc tout indiqué pour cette opération. Aussi la fabrication du ferro-chrome au four électrique prit-elle un grand essor en France et en Amérique, et l'on peut dire qu'elle remplace aujourd'hui presque complètement la fabrication au cubilot.

La fabrication des ferro-tungstènes, qui prennent une

Digitized by Google

tions préliminaires de la communication de M. Keller, nous nous étendrons, dans cette revue et les suivantes sur cette dernière application.

Le silicium, par le rôle qu'il joue dans les fers, fontes et aciers, comme agent thermique, chimique et mécanique, est une des bases de la métallurgie actuelle tout comme le manganèse.

En abordant la fabrication des ferro-siliciums, le four électrique est entré dans le domaine de la métallurgie, et son succès, dans cette voie, lui mérite déjà une place importante. Le four électrique avait pour concurrent dans cette fabrication le haut fourneau dans lequel les ferro-siliciums de 10 à 15 p. 100 sont assez facilement fabriqués en marchant à allure très chaude.

Cependant, dans cette fabrication, l'insuffisance de la température du haut fourneau permit encore au four électrique d'entrer en lice : la température, même modérée, des fours électriques a donné lieu, sans difficultés, à des composés riches en silicium que le haut fourneau ne peut obtenir et c'est ainsi que sont apparus les ferro-siliciums contenant de 25 jusqu'à 80 p. 100 de silicium.

Adoption des ferro-siliciums riches. — L'adoption des ferro-siliciums fabriqués au four électrique fut assez laborieuse; les premiers produits livrés étaient en effet très impurs et découragèrent tout d'abord les mieux disposés; si l'on ajoute à cela que l'adoption d'un système ou produit nouveau est, d'une façon générale, toujours très difficultueuse, on ne sera pas étonné d'apprendre que depuis trois années les avantages des ferro-siliciums riches n'ont été reconnus que pendant la dernière.

Aujourd'hui les ferro-siliciums à 30 et 50 p. 100 de silicium sont couramment employés dans les fonderies et aciéries, et l'on peut dire que leur emploi concurremment au ferro-silicium à faible teneur n'est plus qu'une question de comparaison économique.

Le métallurgiste donnera la préférence au produit qui lui procurera l'unité de silicium — rendu à son usine — à meilleur compte en fai-

---

importance de plus en plus considérable dans l'industrie de l'acier, s'effectue également au four électrique.

L'introduction du four électrique dans l'électro-métallurgie apporta nécessairement des modifications dans sa construction. Toutefois un four électrique peut toujours être ramené à l'un des quatre types suivants : four à arc, four à résistance, four à résistance surperficielle, four d'induction.

Par son mode de fonctionnement le four à arc n'est pas applicable à la réduction rationnelle des minerais ; mais il peut parfaitement convenir à l'affinage d'un bain métallique, cet affinage nécessitant une nappe liquide accessible pour les échantillonnages et pour les additions.

Le four à résistance convient tout spécialement pour la réduction des minerais ; l'allure plus ou moins chaude à donner à la marche est aisée à obtenir et le métal liquide peut toujours être facilement coulé à la partie inférieure du four. Le fonctionnement d'un tel four est comparable à celui d'un haut fourneau. La jonction de la partie inférieure de l'électrode avec la masse interposée est la partie la plus chaude : cette zone de fusion est comparable à la région des tuyères. Le métal réduit passe en minces filets au travers de toute la masse en fusion et se réunit dans la partie inférieure du four qui constitue le creuset et où il se tient chaud ; cette partie est encore chauffée par le courant électrique qui la traverse, ainsi que par conductibilité calorifique, et n'est soumise à aucun rayonnement appréciable. Toute la partie située entre l'électrode et la sole peut être considérée comme la zone de fusion. La région du four située au-dessus de la partie inférieure de l'électrode représentera les *étalages* et devra être construite sur les mêmes principes.

Dans les fours électriques de la troisième classe, les fours à résistance superficielle, les électrodes seules ne peuvent permettre le passage du courant. Pour déterminer l'amorçage du four, il est nécessaire que ces électrodes soient réunies par des conducteurs quelconques, tels qu'une couche de morceaux de charbon par exemple ; ces conducteurs sont alors portés à une vive incandescence et constituent un lit de fusion sur lequel les matières à traiter sont placées. Ces matières traversées en largeur par le courant servent de conducteur entre les électrodes. Ce genre de fours peut être utilisé pour les réductions s'il fonctionne plein de matières et alors son fonctionnement élémentaire est comparable à celui qui vient d'être décrit pour le four de la classe précédente avec la différence que le courant traverse les matières en fusion partie verticalement et partie en largeur, au lieu de les traverser seulement verticalement comme dans le cas précédent. Il peut être aussi utilisé pour l'affinage d'un métal ou d'un alliage si les électrodes ne sont pas plongées dans les matières à transformer, mais touchent ou non la nappe liquide non recouverte. — Le fonctionnement si différent dans les deux cas est donc obtenu avec la même disposition électrique, tant par une différence de construction que par un mode de chargement différent et aussi par l'emploi d'une tension différente. Appliqué à la réduction ou à l'affinage, le même système de four peut donc parfaitement convenir, mais doit être conduit différemment.

Les fours électriques à induction sont constitués par un creuset annulaire dont le contenu constitue le circuit secondaire d'un transformateur et dont le circuit primaire est réalisé comme à l'ordinaire. Le circuit secondaire ainsi formé fonctionne donc avec une seule spire.

Les fours à induction, créés depuis longtemps et restés sans applications bien pratiques, sont expérimentés à nouveau pour l'affinage de la fonte introduite à l'état liquide dans le creuset annulaire. Ces fours n'ont pu jusqu'à présent être construits pratiquement qu'avec de petites capacités à cause de la dispersion magnétique qui résulterait d'un creuset trop grand. Ils ne conviennent pas pour la réduction des minerais, ni pour les fabrications des alliages, telles par exemple que celle du ferro-silicium que nous allons décrire.

Digitized by Google

sant intervenir, bien entendu, la valeur du fer uni au métal dans l'alliage.

La question de savoir si les ferro-siliciums électriques peuvent, comme effet utile, être employés concurremment aux ferro-siliciums des hauts fourneaux, paraît être aujourd'hui résolue par le fait très simple que la vente de ces produits riches est devenue très active.

D'ailleurs, pour en être autrement, il eût fallu que les ferro-siliciums riches eussent été désavantagés : soit par leur densité plus faible, soit par la facilité plus ou moins grande avec laquelle ils s'oxydent dans les bains métalliques, par rapport au ferro-silicium à 10 et 15 p. 100, soit enfin par leur température de fusion légèrement différente de celle de ces derniers alliages.

Pureté. — Quoi qu'il en soit, il est utile de faire ressortir la pureté que le four électrique permet d'atteindre pour les alliages à haute teneur en silicium ; cette pureté, d'une façon générale, est d'autant plus grande que la teneur en silicium est plus élevée ; cela se comprend aisément si l'on considère que l'élévation de teneur est obtenue par l'emploi d'une plus grande quantité de silice et de carbone de réduction, sans augmentation de fer, et que c'est précisément le fer qui apporte presque exclusivement les impuretés contenues dans l'alliage.



Fig. 1. — Vue générale de Livet, sur la Romanche.

En dehors de cette considération, et à teneur d'impuretés égale entre deux ferro-siliciums l'un à 12 p. 100, l'autre à 30 p. 100, le pourcentage d'impuretés introduit dans le bain métallique par unité de silicium sera 4 fois moins grand dans le second cas que dans le premier.

Enfin, la fabrication des ferro-siliciums riches nécessite une action calorifique plus puissante et plus prolongée qui favorise l'élimination des impuretés par volatilisation ou combinaisons secondaires.

Digitized by Google

Avantages pratiques et économiques. — Au point de vue économique, la fabrication en grande masse des ferro-siliciums à haute teneur peut permettre d'obtenir l'unité de silicium à un prix d'autant moins élevé que la teneur en silicium est plus haute. Cela s'explique par le fait que le fer, qui est le facteur le plus important du prix de revient, dans les alliages à faible teneur, devient un facteur bien moins important dans les hautes teneurs ; la matière première principale étant alors la silice qui coûte très bon marché.

Dans les additions finales, l'emploi du ferro-silicium à haute teneur permet de moins carburer l'acier liquide ce qui est un avantage dans le cas de la fabrication des tôles douces.

En dernier lieu, il convient de remarquer que l'addition du ferro-silicium à un bain métallique,

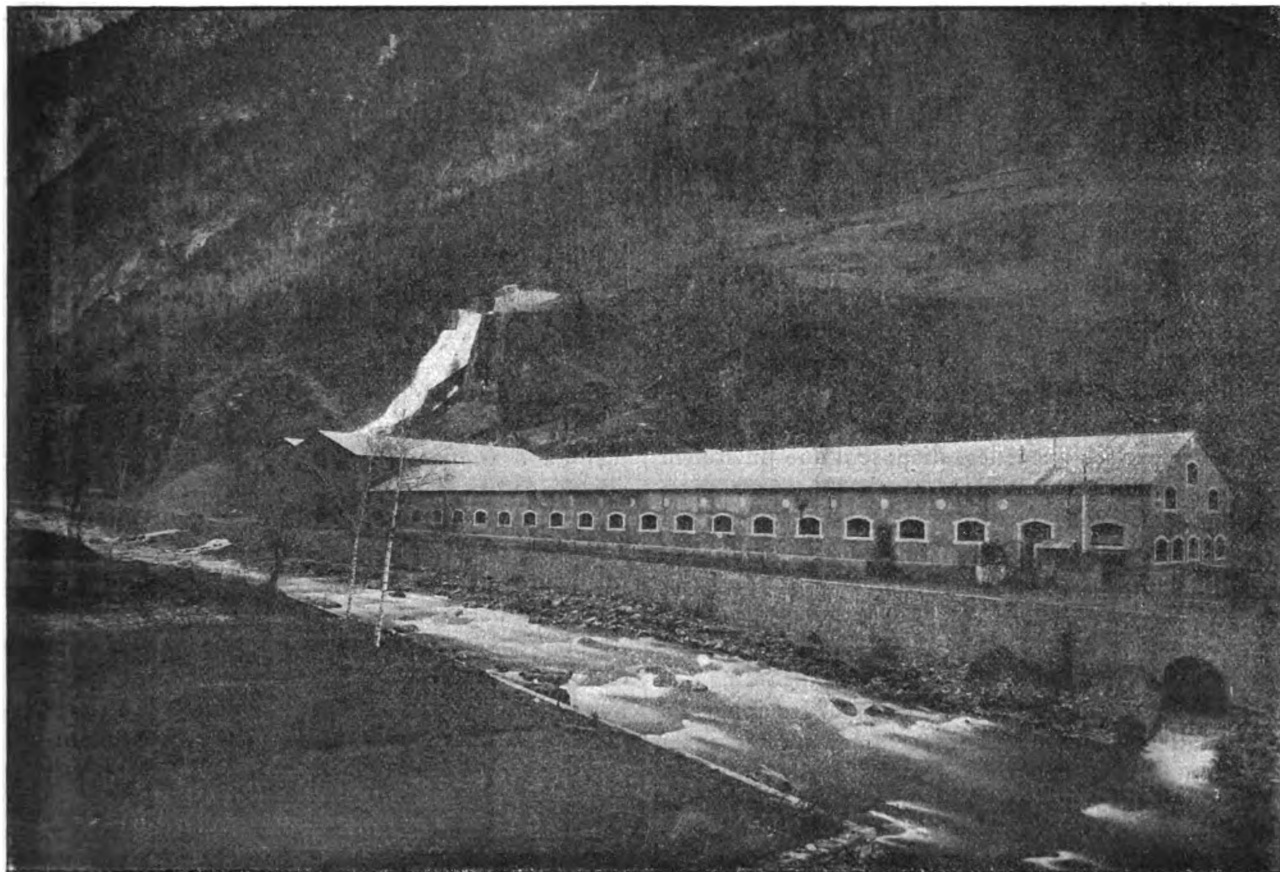


Fig. 2. — Vue de l'usine de Livet.

produisant un refroidissement d'autant moins grand que la masse est moins grande, l'emploi des hautes teneurs se trouve donc pour cette raison encore plus avantageux et il est à croire que devant la tendance prononcée que montrent les métallurgistes pour les ferro-siliciums riches, le silicium ne sera bientôt plus employé qu'à l'état d'alliage à haute teneur comme l'est actuellement presque exclusivement le manganèse.

Une question se pose alors ?

Cette substitution des ferro-siliciums pauvres par les alliages riches est-elle possible pour toute la consommation du silicium ?

En d'autres termes :

1° La production des fours électriques peut-elle atteindre un tonnage suffisant pour satisfaire la consommation ?

2° La fabrication électrique peut-elle soutenir la lutte économique avec la fabrication au haut fourneau quant au prix de revient net de l'unité de silicium ?

Digitized by Google

M. Keller répond que si la consommation annuelle ne peut être encore satisfaite par les fabrications électro-thermiques, on peut s'attendre, dans cette nouvelle industrie à une extension rapide qui la mettra bientôt en mesure d'assurer entièrement le marché du silicium, en diminuant le taux des prix de vente actuellement en pratique.

« Pour s'en convaincre, ajoute-t-il, je dirai que l'exploitation de cette fabrication m'a montré qu'une tonne de ferro-silicium à 30 p. 100 de silicium nécessite une quantité d'énergie correspondant à 3 500 kilowatts-heure. Une usine hydro-électrique de 10 000 chevaux effectifs sur l'arbre des turbines produira donc annuellement 16 000 tonnes de ferro-silicium à 30 p. 100 de silicium, soit près de 50 tonnes par jour.

» Il n'est pas téméraire de présenter de tels chiffres, attendu qu'il existe déjà en Europe et notamment en France plusieurs stations hydro-électriques d'une puissance supérieure.

» L'usine de Livet (Isère), dans laquelle la Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie a installé la fabrication des ferro-siliciums riches par ses procédés, dispose d'une puissance de 15 000 chevaux (fig. 1 et 2). J'ai récemment mis en marche à Livet cette fabrication déjà entreprise précédemment par la même Compagnie dans une usine moins importante; une puissance de 4 000 chevaux a été réservée à cet effet à l'usine de Livet.

» La production de cette usine portera également sur les teneurs plus élevées et les appareils installés permettent indifféremment la teneur de l'une ou l'autre qualité. Jusqu'à présent, les teneurs les plus élevées qui ont été fabriquées sont celles de 75 à 80 p. 100 de silicium. »

Fabrication électrique du ferro-silicium. — La fabrication électrique du ferro-silicium ne peut être vraiment économique que dans une installation importante disposant de fours électriques puissants.

L'usine de Livet utilise des fours électriques de 650 chevaux chacun.

Les matières premières employées doivent de préférence être le quartz, les déchets de fer et le coke.

Le quartz doit être préféré au sable qui détermine souvent des collages et des engorgements dans le four. Les déchets de fer et d'acier doivent être préférés au minerai de fer, car ils permettent avec un quartz pur, une marche pour ainsi dire sans laitiers.

La pureté des ferro-siliciums est donc presque exclusivement fonction du soin avec lequel les approvisionnements de l'usine sont réalisés.

Les fours électriques employés pour la fabrication sont du type à résistance.

Prix de revient. — Sans donner les détails de l'établissement des prix de revient des ferro-siliciums électriques, l'auteur affirme que les prix de vente qu'ils peuvent permettre doivent sur le marché du silicium assurer à bref délai la prépondérance des ferro-siliciums à haute teneur.

La préférence accordée aux ferro-siliciums électriques ne fera, suivant l'auteur, que s'accroître au fur et à mesure de l'emploi des ferro-siliciums à plus haute teneur, car ainsi qu'il a été dit plus haut, le prix de revient net de l'unité de silicium sera d'autant moins élevé que la fabrication s'applique à de plus hautes teneurs.

La fabrication d'une tonne de ferro-silicium à 10, 15 p. 100 au haut fourneau nécessitant jusqu'à 3 tonnes de coke par suite de l'allure chaude et des laitiers réfractaires qu'il convient d'adopter, ne peut pas arriver à concurrencer ces prix. Si l'on ajoute à cela que les frais du transport grèvent l'unité de silicium d'autant plus que l'alliage est moins riche en silicium, on peut conclure que si l'emploi des ferro-siliciums riches doit être envisagé seulement sur le terrain économique, le four électrique a un avenir considérable dans la métallurgie des ferro-siliciums.

Sur l'électro-métallurgie du fer et de l'acier,

par **Albert Keller**. Extrait d'une communication faite à l'Iron and Steel Institute, le 8 mai 1903.

I. Réduction des minerais de fer. — L'auteur commence par déclarer que l'emploi de l'électricité dans ce traitement n'est économiquement et pratiquement possible que :

1° S'il s'agit de la fabrication des fontes spéciales provenant des minerais purs obtenus à l'usine hydro-électrique dans de bonnes conditions économiques.

2° S'il s'agit de créer la métallurgie du fer et de l'acier dans un pays où il n'en existe encore pas, où le charbon doit être importé, où le minerai de fer est abondant et de bonne qualité,

Digitized by Google

et où les forces naturelles existent à proximité des mines de fer.

Conditions économiques de la réduction. — L'auteur a trouvé expérimentalement qu'un kilowatt-an utilisé dans un four électrique de réduction permet de produire 4 tonnes de fonte aciéreuse environ.

De sorte que si l'on représente le prix du kilowatt-an par K, la dépense d'énergie électrique sera ainsi par tonne de fonte : $\frac{K}{4}$.

Si l'on ajoute à cette dépense les 350 kg de coke nécessaires à l'obtention par réduction d'une tonne de fonte, la dépense représentant l'énergie électrique à mettre en jeu, et le charbon de réduction est :

$$\underbrace{\frac{K}{4}}_{\text{énergie}} + \underbrace{\overline{350 \text{ Kg coke}}}_{\text{réduction}}$$

D'autre part, on sait qu'il faut environ 1 000 kg de coke pour l'obtention d'une tonne de fonte au haut fourneau, et si l'on admet momentanément que la main-d'œuvre, l'entretien et divers frais accessoires se compensent dans les deux cas et que les frais de soufflage compensent la dépense d'électrodes, ce qui est approximativement exact, et que l'on fixe le prix du coke à la station hydro-électrique à 35 fr, la tonne, à l'usine métallurgique à 20 fr, il y aura égalité dans la dépense pour les deux cas si :

$$\frac{K}{4} + \frac{35 \times 350}{1\,000} = 20 \text{ fr}$$

ce qui donne K = 32 fr.

D'une façon générale la réduction électrique des minerais de fer dans un pays possédant des établissements métallurgiques et à égalité de condition de transport, ne serait donc théoriquement abordable que si le minerai pouvait, dans les deux cas, être considéré obtenu dans les mêmes conditions et si le kilowatt-an ne revenait pas à plus de 32 fr.

« Certes, dit M. Keller, cette dernière condition est réalisable et elle a été réalisée dans plusieurs installations hydro-électriques, mais si l'on considère que les fours électriques ont un débit unitaire plus faible que les hauts fourneaux et doivent de ce fait donner lieu à des établissements métallurgiques moins importants dans lesquels les frais généraux sont proportionnellement plus élevés, il n'apparaît pas comme pratique que la réduction des minerais de fer en vue seulement de *fabriquer des fontes ordinaires, puisse être entreprise avec succès en Europe dans aucune usine hydro-électrique*.

» Cette conclusion sera d'autant plus formelle que le prix du kilowatt-an sera plus élevé et celui du charbon plus bas. Ainsi cette impossibilité devient tout à fait évidente en Angleterre où le charbon est très bon marché et les chutes d'eau rares et coûteuses.

» En disposant à la station hydro-électrique et à bon compte d'un minerai pur, il serait intéressant cependant d'en entreprendre la réduction au four électrique, car aux considérations de bases ci-dessus vient alors dans ce dernier cas s'en ajouter une autre : celle de la pureté du produit obtenu.

» Cette pureté peut être très grande avec la fabrication électrique car le mode de génération de la chaleur utilisée dans les fours électriques permettant de n'employer le charbon que comme réducteur, on évite ainsi en grande partie, l'action des gaz sulfureux et le peu de charbon à mettre en jeu par tonne de fonte permet de choisir une qualité de charbon réducteur de tout premier ordre.

» On peut donc arriver, avec de bons minerais, à la production de fontes pures comparables aux fontes suédoises et dans une telle fabrication l'emploi du four électrique est encore justifié par l'allure chaude que cet appareil permet d'obtenir, sans pour cela bien entendu, qu'il y ait excès de carbone.

» Comme conséquence de cette allure chaude, il est possible de former des laitiers d'épuration ultra-basiques.

» Je signalerai encore une particularité de la réduction des minerais de fer au four électrique. En employant le système que je décrirai plus loin dont la sole et les parois ne jouent aucun rôle au point de vue électrique, non seulement la sole et les parois peuvent être acides ou basiques, mais le lit de fusion peut être réglé de telle façon que la teneur en carbone du métal provenant de la réduction soit très réduite, de sorte que le produit coulé peut être non une fonte ordinaire, mais un acier très dur, ayant déjà subi une épuration appréciable.

» Ce réglage exact de la dose de carbone dans le lit de fusion pourrait permettre même de dis-

Digitized by Google

poser dans le four d'un laitier oxydant au contact duquel le métal pourrait s'affiner à peu près au point voulu.

» Cette marche cependant n'est pas à recommander, car les électrodes au contact de ces laitiers oxydant s'usent beaucoup plus rapidement.

» L'emploi du four électrique en Europe qui sera une utopie dans presque tous les cas, s'il s'agit de la fabrication de la fonte ordinaire, deviendra donc intéressante s'il s'agit de la fabrication de fontes spéciales dont la production est réalisée actuellement sur une échelle assez réduite, par suite de la plus grande valeur commerciale de ces fontes et des facilités que procure le four électrique pour obtenir un métal pur et partiellement affiné.

» L'adoption de la méthode électrique, dans un pays donné, restera bien entendu dépendante des facteurs économiques locaux, *main-d'œuvre*, *transport*, *facilité d'importation*, etc. »

M. Keller examine alors comment se présente la question, s'il s'agit de l'emploi du four électrique pour la fabrication de la fonte dans un pays dépourvu de tout établissement métallurgique et de charbon, mais possédant des chutes d'eau et des minerais de fer de bonne qualité.

Il est bon de dire tout d'abord que la réunion de ces facteurs se rencontre encore assez fréquemment. Le Brésil, le Chili, la Nouvelle-Zélande, et d'autres pays sont dans ce cas.

M. Keller étudie en ce moment, pour le compte d'un syndicat brésilien patronné par le Gouvernement de l'Etat de Rio, un projet relatif à l'installation d'un important établissement électro-métallurgique destiné à produire au Brésil la fonte, le fer et l'acier consommés tant dans ce pays que dans les Etats voisins. On se rendra compte de l'importance que peut avoir une semblable entreprise en considérant que le Brésil seul, consomme annuellement 60 000 tonnes de ces différents métaux et que sa consommation se trouve forcément limitée par les prix élevés du fer et de l'acier entièrement importés [1].

D'autre part, il résulte de renseignements remis par M. Charles Vattier, délégué officiel du Chili, envoyé en mission industrielle en Europe, que le Chili se trouve dans des conditions relativement semblables à celles du Brésil :

La métallurgie du fer n'y a pas été créée.

Le minerai de fer est abondant et riche, les chutes d'eau sont nombreuses et l'étude de l'une d'elles a montré que le prix du kilowatt-an ne dépasserait pas 30 fr.

Le coke anglais revient à 100 fr, rendu dans les régions industrielles du Chili.

L'égalité établie précédemment donnerait, *si des hauts fourneaux au coke existaient au Chili :*

$$100 = \frac{K}{4} + 35.$$

Ce qui prouve que les hauts fourneaux au coke ne seront vraisemblablement jamais installés au Chili et qu'au contraire, les fours électriques ont beaucoup de chance d'y être installés dans un avenir prochain.

La Nouvelle-Zélande, avec ses excellents minerais magnétiques qui constituent le sable du rivage et les chutes importantes qui peuvent être captées, près de la mer, sur le cours des fleuves qui descendent du mont Egmont, est aussi un champ tout indiqué pour l'électro-métallurgie du fer, et il est à souhaiter que le Gouvernement d'un pays aussi gros consommateur de fer, encourage des industriels dans cette voie, afin de faire cesser cette singulière anomalie : de posséder des minerais de fer riches, d'extraction extrêmement facile, placés sur le bord de la mer, ainsi que les forces naturelles qui permettent de

(1) Les données du projet sont les suivantes :

La chute d'eau qui a été concédée à ce syndicat par une loi spéciale peut fournir à l'étiage sous une hauteur de chute de 35 m . . . . 25 000 chevaux.

Les frais de captation de chute avec conduites d'eau, sont traités à forfait pour la somme de . . 2 500 000 fr. ce qui donne comme prix du cheval hydraulique aménagé . . . . 100 fr.

Si l'on compte l'amortissement de ces travaux en dix ans ainsi que celui du matériel hydraulique et électrique, on conclut que le kilowatt-an reviendra dans une telle installation à moins de . . . . 25 fr.

Le minerai de fer contient en moyenne 65 p. 100 de fer métallique et est d'une pureté remarquable. Il est compté revenant à 12,50 fr la tonne rendue aux fours de traitement.

Le bon coke anglais revient à 60 fr la tonne.

Toutes ces conditions sont tout à fait favorables et leur application à l'égalité de comparaison que j'ai posée au début, montre que le Brésil deviendra un champ d'action très intéressant pour l'électro-métallurgie du fer et de l'acier.

Digitized by Google

les traiter et cependant d'importer toute sa consommation de fer et d'acier à des taux très élevés.

Il a été donné à M. Keller de traiter au four électrique des minerais pulvérulents de la Nouvelle-Zélande correspondant à l'analyse suivante :

Fe^2O^3	52,88
FeO	29,2
Al^2O^3	0,9
MnO	0,48
MgO	4
SiO^2	3,8
TiO^2	9,3

A l'aide d'une allure très chaude permettant des laitiers ultra-basiques, M. Keller a pu recueillir tout l'acide titanique dans les scories qui ont décélé une dose de TiO^2 de 14 p. 100, alors que le métal ne contenait aucune trace de titane. Il est douteux que la température du haut fourneau permette de fonctionner avec des laitiers aussi basiques que ceux qui m'ont permis d'éliminer tout l'acide titanique du minerai.

II. Fabrication des aciers. — La fabrication de l'acier, en partant des minerais, suit comme considération générale de possibilité, celle de la fonte correspondant à ces minerais. L'obtention des qualités supérieures que permet d'obtenir l'affinage électrique déplace cependant la question sur le terrain économique.

Tout autre, en effet, doit être le raisonnement suivi si l'on examine la possibilité de la fabrication électrique des aciers par fusion de riblons ou affinage de la fonte liquide.

Les conditions métallurgiques spéciales dans lesquelles peut permettre de travailler un four électrique, les facilités et moyens nouveaux qu'apporte la méthode électrique de régler la température et notamment d'obtenir des températures supérieures, à celles obtenues dans les fours métallurgiques, l'absence de toute oxydation dans la source de chauffage réalisée avec l'électricité, sont autant de facteurs qui doivent intervenir dans l'opinion que l'on peut formuler sur l'électro-métallurgie de l'acier par affinage de la fonte ou fusion, affinage ou dosage des déchets de fer et d'acier.

Le prix de l'énergie électrique même, base de toute la méthode, n'intervient plus comme facteur principal du prix de revient. En effet, il faut environ 0,10 kilowatt-an pour fondre et affiner une tonne d'acier par fusion de déchets de fer et d'acier et si la force motrice est générée même par une machine à vapeur, la dépense d'énergie électrique sera approximativement de 40 fr par tonne d'acier, si l'on admet que le coût du kilowatt-an produit par la vapeur est d'environ 400 fr. Ce chiffre obtenu dans les conditions les plus défavorables de l'obtention de la force ne peut même pas être un obstacle à l'affinage électrique appliqué à la fabrication d'acier de qualité supérieure.

III. Procédés électrométallurgiques Keller. — Dans cette partie de sa communication, l'auteur fait connaître les résultats des recherches qu'il poursuit depuis plusieurs années [1] pour la fabrication électrothermique des fers et aciers. Estimant que cette fabrication doit se rapprocher le plus possible de la marche suivie dans la sidérurgie actuelle, il a divisé la fabrication du fer et de l'acier en deux phases, bien distinctes, la réduction et la fusion du métal brut entreprises dans un premier four à fonctionnement continu, l'affinage et le dosage du métal entreprises dans un second four à fonctionnement intermittent placé sous le premier et recevant par coulées, directement le métal provenant du four d'élaboration.

Haut fourneau électrique pour la réduction des minerais de fer. — Les conditions essentielles auxquelles doit répondre cet appareil sont :

1° L'utilisation d'une grande puissance pour le traitement d'une masse importante ;

2° La continuité du fonctionnement.

Pour satisfaire à ces conditions, M. Keller a employé un four électrique alimenté par plusieurs foyers, circonscrivant la masse de matières à traiter.

Il a adopté un mode de distribution électrique permettant d'éviter d'employer la sole du four comme conducteur, ce qui permet en conséquence de la constituer ainsi que les parois du four en matériaux acides neutres ou basiques. Il est arrivé à ce résultat en employant, pour l'aller et le retour du courant, des électrodes verticales réglables séparément.

---

[1] Voir à ce propos : Bertolus. La fabrication électrothermique de l'acier à l'usine de Kerrousse, par les procédés Keller et Leleux, *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 45, 11 octobre 1902.

Digitized by Google

Enfin pour réaliser la continuité du fonctionnement, il a, dans une telle distribution, placé plusieurs électrodes en parallèle de façon à ce que l'une quelconque d'entr'elles soit remplaçable en pleine marche sans aucun arrêt ni variations de la machine électrique. Le haut fourneau électrique créé sur ces principes comprend donc au moins deux groupes de deux électrodes, les deux électrodes d'un même groupe étant mises en parallèle et les deux groupes étant mis en série.

Ces quatre électrodes sont placées dans une

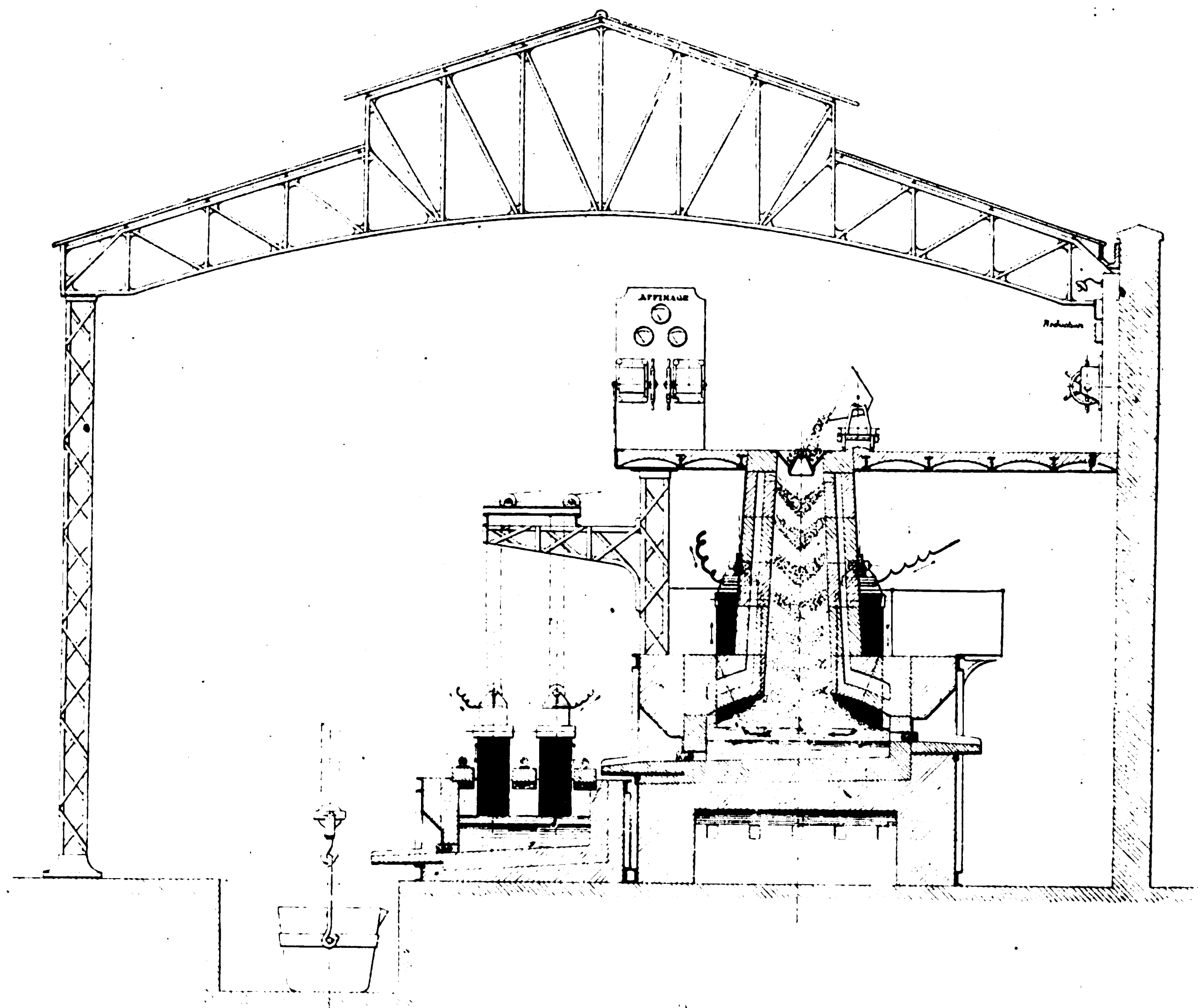


Fig. 1. — Haut fourneau et four d'affinage Keller.

même capacité à parois réfractaires (fig. 1). Chaque électrode possède son mécanisme de réglage qui permet de les élever ou de les abaisser à volonté. L'intensité est équilibrée dans chacun des foyers d'un même groupe au moyen de lectures faites à deux ampèremètres ; la tension de chacun des groupes est réglée au moyen de lectures faites à deux voltmètres branchés respectivement entre la sole du four et chacun des deux groupes d'électrodes.

La sole du four est constituée à la façon des soles des fours Martin. La chambre de fusion du four est surmontée d'une colonne en maçonnerie contenant les minerais, le charbon de réduction et les fondants, qui sont chargés à sa partie supérieure.

Digitized by Google

Dès la mise en marche du four, les matières sont introduites par le gueulard et emplissent le four. Les quatre foyers sont réglés séparément ; ce réglage se fait aisément quelques minutes après l'allumage.

La réduction du métal et la fusion commencent à s'effectuer seulement sur la sole. Après quelque temps de marche l'oxyde de carbone et le minerai contenus dans la partie supérieure du four sont suffisamment chauds pour entrer en réaction. Dès lors, la réduction s'opère, non seulement dans la partie inférieure du four, c'est-à-dire dans la zone de fusion, mais encore dans toute la colonne du four qui est toujours tenue pleine de matières ; les gaz qui arrivent à la partie supérieure de la colonne sont aspirés dans une chambre où ils sont brûlés ; leur chaleur de combustion peut être utilisée au séchage des matières par exemple.

Après quelques heures de marche, la coulée du métal brut est effectuée dans le four d'affinage, préalablement chauffé et contenant déjà des matières en fusion.

A l'arrivée des laitiers par le trou de coulée du métal, le tampon de fermeture est introduit. Le courant électrique est alors réglé convenablement dans le four inférieur qui vient de recevoir cette coulée afin de la tenir chaude, tout en en commençant la décarburation.

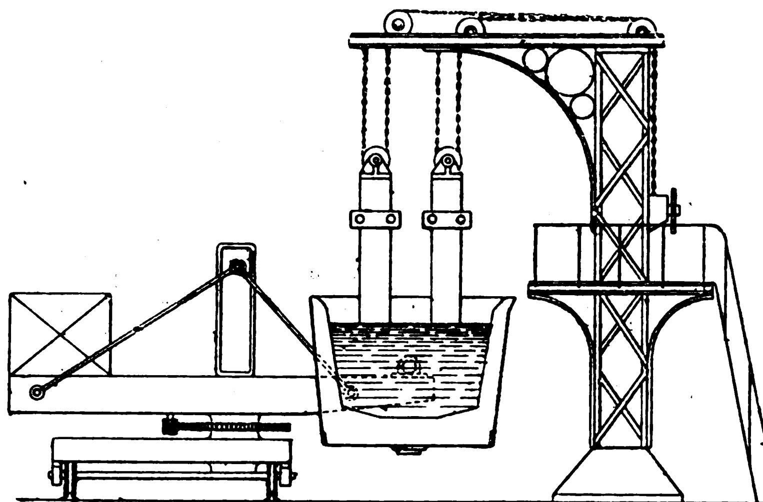


Fig. 2. — Four d'affinage mobile.

Au moment de la coulée du four supérieur, les matières s'affaissent dans la colonne de chargement ; les électrodes qui avaient été légèrement élevées pour le réglage de la tension, sont abaissées et reviennent à leur position initiale. De nouvelles charges de matières sont alors introduites.

Les laitiers du four supérieur sont évacués par une des tuyères spéciales placées sur les faces latérales du four. Les coulées de métal et laitiers sont ensuite effectuées à des intervalles réguliers et la marche de l'appareil est réglée comme à l'ordinaire par l'examen des laitiers et du métal coulé.

On arrive ainsi à obtenir un métal de composition absolument régulière donnant lieu à un affinage méthodique.

Lorsque le four inférieur d'affinage est rempli par le métal, les coulées sont dirigées dans un second four pendant que l'affinage est entrepris dans le premier, plein de métal brut.

Four électrique d'affinage. — Le four employé pour l'affinage repose sur le même principe de distribution électrique que celui qui vient d'être décrit, mais, alors que le four de réduction est toujours plein de matières, le four d'affinage ne contient que le métal liquide et les matières servant à l'affinage et à l'épuration. Ce four est assez bas de façon à ce que la nappe liquide soit accessible pour le prélèvement des échantillons.

Si la distribution électrique est la même dans les deux fours, le régime électrique de fonctionnement y est complètement différent. Alors que le four de réduction utilise une faible tension :

Digitized by Google

25 à 30 volts par foyer, le four d'affinage fonctionne avec une tension de 50 à 75 volts par foyer. Il importe, en effet, pour l'affinage, que les électrodes puissent ne pas être plongées dans les laitiers, car dans ce cas la nature oxydante de ces laitiers détermine une usure rapide des extrémités d'électrodes et à leur contact l'oxyde de fer contenu dans les laitiers d'affinage est réduit, et l'entraînement des particules de métal carburé formées de ce fait, retarde et rend même impossible l'affinage de la couche métallurgique recouverte par la couche de laitier.

La position en hauteur des électrodes, pour une puissance déterminée, ou pour un laitier déterminé est fonction de leur écartement et de la tension employée. Pour un écartement donné il suffit donc, afin d'éviter tout conctact entre les électrodes et la masse en fusion, d'employer une tension suffisamment élevée.

La partie supérieure du four d'affinage est recouverte de voûtes de réverbération; des ouvertures convenables sont réservées pour l'introduction des corps d'addition et la prise des échantillons. Pour plus de facilités dans les opérations de coulée et d'échantillonnage, il est très facile de placer le four d'affinage sur tourillons et de lui donner un mouvement de bascule comme à un Bessemer. Toutefois dans l'adoption de cette disposition, il y a lieu de considérer que la coulée du métal par la partie inférieure du four d'affinage, le bain métallique et les scories étant bien séparées et laissées dans l'immobilité, est bien préférable à la coulée par-dessus et par oscillation qui a déjà été reconnue comme une cause appréciable d'altération de la qualité de l'acier.

Le réglage de la température se fait aisément pendant la durée de l'affinage par la manœuvre à main des électrodes du four. La température peut facilement être augmentée et portée à un degré nettement supérieur à la température des fours Martin et Bessemer ou des creusets ; il est possible de chauffer jusqu'à la volatilisation du fer, point extrême qu'il est d'ailleurs inutile d'atteindre.

L'affinage électrique réalisé dans ces conditions permet d'obtenir par suite de la haute température employée des réactions presque impossibles aux fours Martin. Cet affinage peut être conduit tout comme le four Martin, c'est-à-dire en employant les mêmes agents d'oxydation ; mais les avantages capitaux que permet de réaliser l'affinage électrique résident dans la nature de la source de chauffage qui est neutre et dans la génération de la chaleur au-dessus et au sein même de la masse en fusion. Ce sont ces deux points essentiels qui doivent, au *point de vue métallurgique*, différencier la méthode d'affinage électrique des méthodes déjà employées dans la métallurgie courante et qui expliquent que les qualités des aciers obtenus par un affinage électrique rationnel joint à l'application de la pratique métallurgique moderne, ont pu donner lieu à des qualités d'acier comparables aux aciers au creuset.

La décarburation doit être réalisée de préférence à l'aide des oxydes métalliques et notamment par l'oxyde de fer.

L'emploi du soufflage qui déterminerait une usure rapide des électrodes doit être proscrit ; d'autre part, l'oxygène de l'air, dans le soufflage, tout en brûlant tout d'abord la plus grande partie des éléments plus oxydables que le fer dont le carbone, agit aussi sur le fer et des parcelles d'oxyde de fer se trouvent ainsi disséminées dans la masse de métal et en altèrent rapidement la qualité.

Au contraire, l'oxygène de l'oxyde de fer stable dans la combinaison de cet oxyde n'est mis en liberté que par l'action réductrice puissante du carbone, aussi la méthode d'affinage de l'*ore process* est-elle celle qui paraît à M. Keller devoir être conservée dans l'affinage électrique.

L'épuration du bain métallique, qu'il s'agisse de la déphosphoration ou de la désulfuration, est encore favorisée par la nature électrique de la source de chauffage.

L'enlèvement du soufre peut se faire facilement grâce à la facilité avec laquelle on peut produire une action réductrice.

La conduite de l'opération électrique d'affinage ne présente pas de difficultés ; la formation et l'enlèvement des laitiers d'épuration ont lieu sans particularités intéressantes ; ces laitiers de natures diverses doivent être composés naturellement successivement, s'il y a lieu de désulfurer.

Les additions finales sont ensuite effectuées comme à l'ordinaire ; à signaler à ce sujet l'économie que l'on peut réaliser avec les fours électriques d'affinage dans les additions de métaux rares par suite de la suppression des pertes de

Digitized by Google

ces métaux, qui peuvent résulter de leur oxydation lors de l'addition.

Description d'une aciérie électrique. — Pour l'application en grand des systèmes et procédés

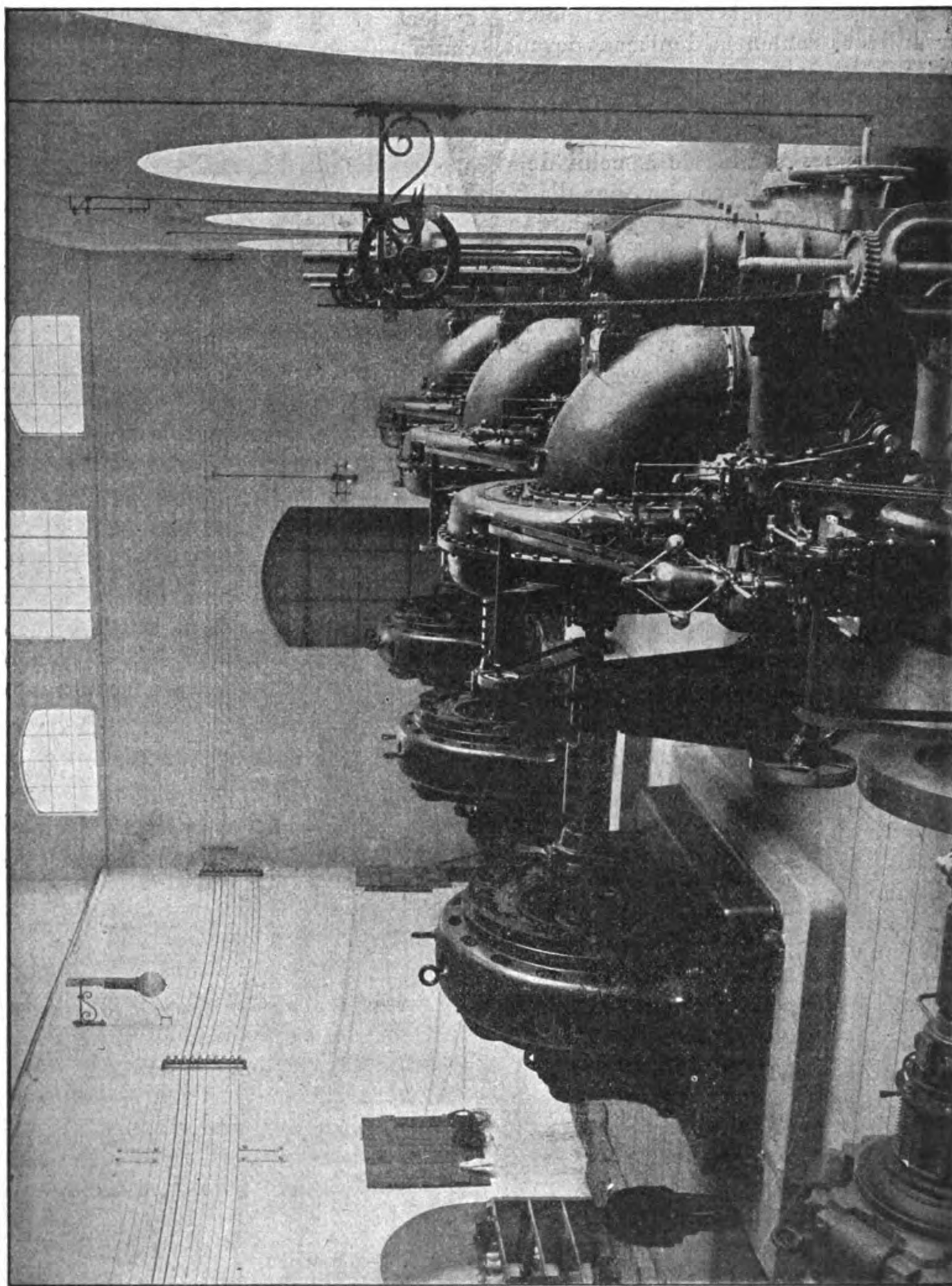


Fig. 3. — Vue de la salle des machines de l'usine de Livet.

qui viennent d'être décrits, l'auteur dispose les fours de réduction ou de fusion des riblons en batterie de front.

Comme il a été dit précédemment, deux fours d'affinage peuvent être disposés devant chaque four d'élaboration, l'un des deux fours recevant les coulées successives de l'appareil d'élaboration pendant que l'affinage des coulées précédemment réunies est effectué dans l'autre, et vice versa.

Digitized by Google

Un dispositif plus pratique se présente à l'esprit dans le cas de l'utilisation d'une puissance importante. Les coulées de tous les fours d'élaboration peuvent être réunies dans une poche montée sur un truck roulant se déplaçant devant le front de la batterie des fours d'élaboration (fig. 2). Le métal ainsi réuni peut, soit être affiné directement dans la poche transportée sous un dispositif d'électrodes semblable à celui déjà décrit, soit être transvasé dans un four d'affinage fixe calculé pour l'affinage de la réunion des coulées.

Deux appareils semblables à tour de rôle desserviront la batterie des fours d'élaboration. Si les coulées ont lieu toutes les trois heures dans les fours d'élaboration, on dispose donc de six heures pour l'affinage, la coulée du métal et la remise en état de la sole et des parois du four s'il y a lieu : temps matériel suffisant pour ces divers travaux.

L'usine électro-métallurgique ainsi conçue comprendrait pour la fabrication une longue salle pour l'élaboration du métal, à l'extrémité de laquelle se trouverait l'aciérie proprement dite, adjacente soit aux fosses de coulée des lingots, soit aux halls de moulage. Les deux parties de la fabrication, élaboration et affinage, sont ainsi nettement séparées.

Comme exemple, une usine hydro-électrique disposant sur l'arbre des turbines de 10 000 chevaux disponibles pour la fabrication de l'acier, pourrait produire par jour de 24 heures, 60 tonnes d'acier dont 50 tonnes par réduction de minerai de fer à 55 p. 100 de fer, et 10 tonnes par fusion et affinage de riblons.

Autant que possible une telle usine devrait disposer de groupes électrogènes avec alternateurs monophasés de 1 000 chevaux chacun ; 8 des groupes actifs alimentant des fours d'élaboration, 2 autres groupes actifs étant destinés exclusivement à l'affinage.

La Compagnie électro-thermique Keller, Leleux et Cie, de Paris, a monté à Livet (Isère), des appareils pour la fabrication des aciers électriques.

L'usine de Livet dispose d'une chute de 60 m de hauteur et de 25 m³ de débit moyen à la seconde.

Le canal d'amenée est tout entier en tunnel sur une longueur de plus de 2 km.

La figure 3 donne une vue d'ensemble d'une partie de ces groupes. La puissance électrique de chacun d'eux est de 1 200 chevaux électriques développés par des alternateurs monophasés du système Thury, capables de fournir chacun un courant de 30 000 ampères. Des turbines Neyret-Brenier actionnent directement les alternateurs.

La figure 4 représente un des hauts fourneaux électriques pouvant produire environ 8 tonnes d'acier par 24 heures par réduction du minerai et son appareil d'affinage placé à la partie inférieure; cette photographie a été prise lors d'une coulée d'acier de 3 tonnes. L'appareil figuré peut produire 25 tonnes d'acier par 24 heures si au lieu de réduire le minerai on fond des déchets de fer et d'acier,

Prix de revient de l'acier fabriqué au four électrique. — Pour l'obtention de l'acier par réduction du minerai de fer, M. Keller établit ce prix de revient comme suit :

« J'ai indiqué précédemment, qu'une tonne d'acier fini nécessitait 2 800 kilowatts-heure ; ce qui représente, si l'on compte le kilowatt-an de 8 400 heures à 50 fr, tous amortissements compris, une dépense d'énergie d'environ 16,50 fr.

» En prenant comme base les autres prix unitaires suivants :

Prix de la tonne de minerai de fer à 55 p. 100 de fer, rendue à l'usine. .	10 »
Prix de la tonne de coke pour la réduction, rendue à l'usine	40 »
Prix de la tonne de fondant, rendue à l'usine	15 »
Prix de la tonne d'électrodes, rendue à l'usine.	400 »
Prix de la journée moyenne d'ouvrier.	4 »

» On peut estimer le prix de revient d'une tonne d'acier en lingots, de 90 à 100 fr, frais généraux et entretien compris.

» A ce prix il conviendrait d'ajouter la licence d'exploitation des systèmes et procédés employés. Si l'on établit ce calcul pour le Chili par exemple, avec les nouvelles données suivantes :

Coke, la tonne.	100 fr »
Electrodes, la tonne.	600 » »
Fondant, la tonne	5 » »
Kilowatt-an de 8.400 heures. .	30 » »

» On trouve que le prix de revient de la tonne d'acier en lingots bruts serait également de 90 à 100 fr, licence non comprise. »

Digitized by Google

Pour l'obtention de l'acier par fusion et affinage de déchets de fer et d'acier, M. Keller dit :

« J'ai également déjà indiqué que l'énergie nécessaire pour la fabrication d'une tonne d'a-

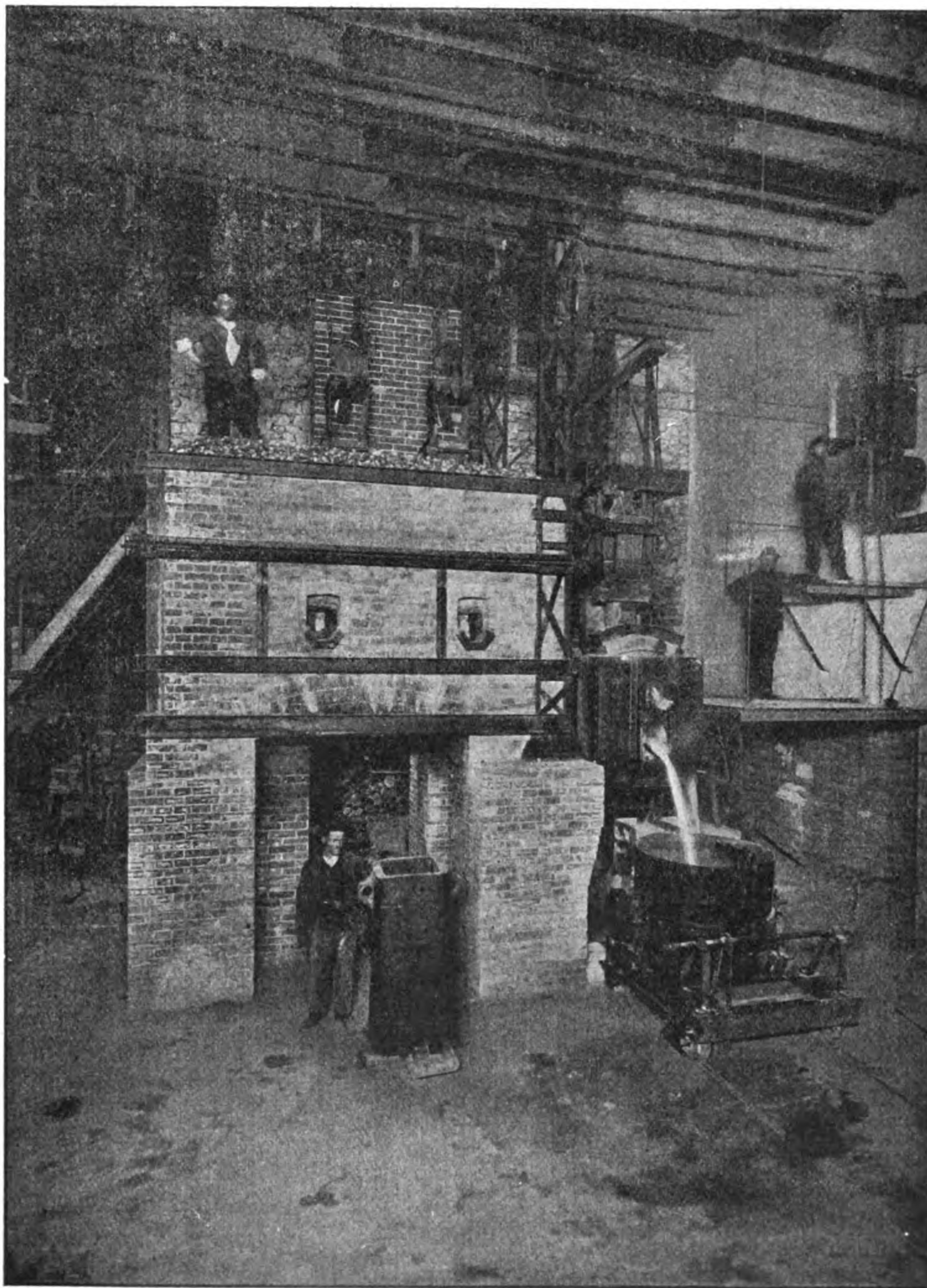


Fig. 4. — Haut fourneau électrique Keller, de l'usine de Livet.

cier par fusion et affinage électriques de déchets de fer et d'acier est de 840 kilowatts-heure environ. Une installation hydro-électrique, dans laquelle le kilowatt-an coûte 50 fr, dépensera donc, pour la fabrication d'une tonne d'acier, environ 5 fr d'énergie électrique. Une installa-

Digitized by Google

tion dont la force motrice est générée par la vapeur et à laquelle le kilowatt-an coûte 400 fr dépenserait, pour la fabrication d'une tonne d'acier, environ 40 fr. d'énergie électrique.

» Dans ce dernier cas, si l'on admet que les déchets de fer et d'acier coûtent 60 fr la tonne, la tonne d'acier de qualité supérieure en lingots, reviendrait environ à 140 fr avec des prix courants pour les autres facteurs du prix de revient, soit environ 35 fr de plus que dans le premier cas.

» Ce prix maximum peut encore être très admissible, si on considère combien est précieuse la souplesse de fonctionnement du four électrique et les avantages que présente l'affinage électrique quant à la supériorité de la qualité des aciers obtenus.

» L'utilisation des gaz perdus des hauts fourneaux trouveront donc certainement, avec l'installation des fours électriques d'affinage dans les grands centres métallurgiques, une application merveilleuse. »

IV. Autres applications des procédés Keller. — M. Keller termine cette partie de son étude en signalant les applications métallurgiques secondaires des systèmes qui viennent d'être décrits.

Transformation électrique en acier de la fonte produite par un cubilot ordinaire. — Pour arriver à ce résultat, il suffit de munir le cubilot en question d'un avant-bassin dans lequel s'écoule la fonte produite par les moyens ordinaires dans la colonne de fusion, et d'un dispositif d'électrodes mobile en communication avec une machine électrique appropriée (fig. 5).

La fonte liquide contenue dans cet avant-bassin est introduite dans le circuit électrique qu'elle forme par la simple descente des électrodes. Les matières d'épuration et d'affinage sont introduites dans l'avant-bassin qui fonctionne dès lors comme le four inférieur d'affinage dont il a déjà été parlé.

Avec un courant électrique peu important, la fonte liquide peut être ainsi transformée en acier de première qualité : cela naturellement sans que le fonctionnement normal du cubilot soit interrompu.

Le calcul de la quantité d'énergie à mettre en jeu pour transformer une tonne de fonte en acier donne les résultats suivants :

Réchauffage de la fonte liquide	72 000 calories
Formation des laitiers	200 000 —
Rayonnement	175 000 —
Divers	153 000 —
	600 000 calories

soit pratiquement environ un douzième de kilowatt-an.

En admettant que le kilowatt-an revienne à 400 fr, l'énergie étant générée par une machine à vapeur, on voit que la transformation de la fonte liquide en acier nécessitera, au prix ci-dessus indiqué, environ 35 fr d'énergie électrique.

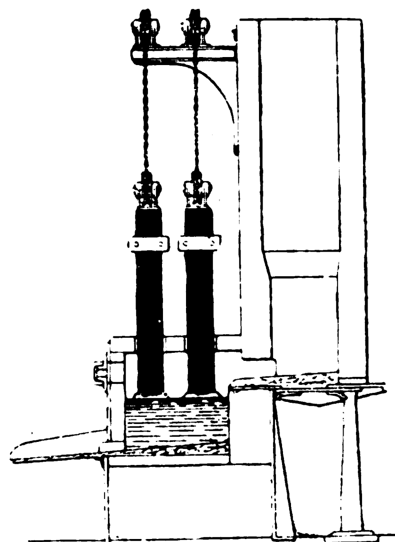


Fig. 5. — Four d'affinage Keller.

Les frais complémentaires afférant au traitement électrique porteront la dépense de transformation à environ 45 fr par tonne, étant donné que les frais généraux, main-d'œuvre, ne sont pas, dans ce calcul, des facteurs à appliquer spécialement à la transformation de la fonte en acier.

Par une augmentation de prix de revient assez faible, une fonderie montée exclusivement pour la fabrication de la fonte peut donc ainsi entreprendre les moulages d'acier et augmenter considérablement son champ d'action commercial en transformant légèrement son installation.

Coulée de pièce importante au moyen de fours métallurgiques de débit unitaire insuffisant pour le poids de la pièce. — Les coulées de ce ou de ces fours peuvent être réunies dans la poche de coulée et tenues chaudes électriquement jusqu'à

Digitized by Google

ce que l'on ait la quantité voulue pour effectuer la coulée considérable. A cet effet, la poche de coulée est conduite sous le dispositif spécial d'électrodes déjà décrit, et le métal en fusion est introduit dans le circuit électrique. Il suffit de disposer d'un courant électrique de peu d'importance capable seulement de compenser le rayonnement de la poche de coulée et du métal en fusion.

Le métal restant dans la poche après la coulée pourra, s'il y a lieu, ne pas constituer un déchet comme à l'ordinaire, car il suffira de l'introduire à nouveau dans le circuit électrique pour le maintenir liquide jusqu'à ce qu'on puisse le réunir aux coulées suivantes des fours.

Coulée chaude d'une batterie de creusets et homogénéité du métal fabriqué dans une batterie. — On sait combien il est important d'effectuer les coulées au degré de température convenable. Les coulées de grosses pièces au creuset offrent des difficultés résultant du grand nombre de creusets à faire entrer en jeu, de la difficulté de maniement des creusets, de l'irrégularité de température et de composition dans les différents creusets, ce qui nécessite d'effectuer la coulée de tous les creusets très rapidement, afin de ne pas avoir de retassements intérieurs dans les pièces et même des reprises.

M. Keller croit possible de parer à ces difficultés en coulant le contenu de tous les creusets dans la poche électrique déjà décrite.

Le métal pourra être réchauffé pour être coulé très fluide en une seule fois. De plus, il s'opère ainsi un mélange intime qui assure une composition et une température égales à toute la masse.

Il semble qu'on rendra ainsi les coulées au creuset plus pratiques, en même temps que l'on diminuera la main-d'œuvre et évitera les retassements accidentels, reprises ou soufflures.

Sur l'électro-métallurgie du cuivre, par **Albert Keller**. Extrait d'une communication faite à l'Iron and Steel Institute, le 8 mai 1903.

Cette partie de la communication complète les renseignements qui ont déjà été publiés ici [1] d'après une conférence de M. Vattier, à la Société des Ingénieurs civils.

L'obtention du cuivre par traitement de ses minerais au four électrique a été entreprise dans un four électrique fondant 25 000 kg de minerai par 24 heures.

Le minerai traité, provenant du Chili, se présentait sous la forme d'une gangue quartzeuse avec taches de syénites et quelquefois d'argile, avec un peu de carbonate de chaux et beaucoup d'oxyde de fer micacé, renfermant le sulfure jaune de cuivre.

Ce minerai contient environ 6,5 à 7 p. 100 de cuivre, de sorte qu'il faut approximativement 16 tonnes de minerai pour obtenir une tonne de cuivre sous forme de mattes. L'établissement métallurgique qui traite actuellement ces minerais au four à manche, a indiqué que la production d'une tonne de cuivre nécessitait 3 200 kg de coke anglais revenant à l'usine à 100 fr la tonne.

D'autre part, M. Keller a trouvé expérimentalement que le traitement de 16 tonnes de minerai nécessitait 1,25 kilowatt-an, ce qui correspond à 30 fr le kilowatt-an, à une dépense d'énergie de 37 fr, alors que la dépense de coke correspondante est de 320 fr.

Si l'on tient compte de la dépense d'électrodes dans la fusion qui est de 75 kg d'électrodes environ par tonne de cuivre contenu dans les mattes, ce qui représente une somme de 45 fr, on conclut que l'économie réalisée par la fusion électrique dans les conditions indiquées ci-dessus, sera par tonne de cuivre de :

$$320 - (37 + 45) = 240 \text{ fr.}$$

si l'on admet que le soufflage, la main-d'œuvre et autres accessoires, dans la fabrication au four à manche, compensent les dépenses accessoires correspondantes afférant à la fusion électrique, hypothèse certainement au désavantage de cette dernière qui ne comporte pas de soufflage.

De renseignements fournis par M. de la Bouglise, il résulte que des mines disposant des minerais à la teneur citée ci-dessus, rejettent pour le traitement les minerais titrant moins de 5 p. 100 de cuivre.

« La méthode employée au Chili, appelée » *Pirquen*, consiste à payer l'ouvrier ou pirqui» nero proportionnellement au nombre de ton» nes de minerai qu'il produit et proportionnel» lement à la richesse de ce minerai.

» Le *Pirquinero* ne doit pas livrer le minerai » au-dessous de 5 p. 100. Lorsqu'il ne produit

[1] *Écl. Élect.* t. XXXVI, p. 461, 19 septembre 1903.

Digitized by Google

» que du minerai de 4 p. 100, celui-ci est refusé » et n'est pas payé à l'ouvrier; à mesure que la » teneur en cuivre du minerai livré par les pir- » quinero augmente, le prix payé pour le mine- » rai augmente à raison de 3,50 fr la tonne, » pour une augmentation de teneur de 1 p. 100 » de cuivre. »

Il en résulte les conséquences suivantes :

1° Les quartiers riches de la mine sont seuls travaillés;

2° Les travaux des recherches sont très peu importants;

3° Quand un chantier s'appauvrit ou que le minerai ne peut plus être trié avec facilité, ce chantier est abandonné ;

4° Tous les minerais au-dessous de 5 p. 100 sont rejetés, ou subissent un concassage et un triage très coûteux pour arriver à en extraire un peu de minerai riche.

Ce système est donc mauvais et doit être condamné. Cependant, il devra être conservé jusqu'au moment où des perfectionnements dans la métallurgie permettront d'utiliser les minerais en-dessous de 5 p. 100.

Ces perfectionnements sont précisément réalisés par le four électrique. En effet, un minerai à 4 p. 100 de cuivre nécessite 2 kilowatts-an par tonne de cuivre en mattes au lieu de 1,25 kilowatt que nécessite le minerai à 6,5 p. 100 de cuivre. Avec les premiers minerais, il est nécessaire de consommer dans le four à manche par tonne de cuivre, non plus 3 200 kg, mais 5 000 kg de coke.

Et si dans le cas de l'électricité la dépense supplémentaire, pour la fusion, est de :

$$30 \text{ fr} \times (2 \text{ kilowatts-an} - 1,25 \text{ kilowatt-an} = 22,50.)$$

elle est dans le four à manche de

$$\frac{100}{1\,000} \times (5\,000 - 3\,200) = 180 \text{ fr.}$$

Dans le premier cas elle est acceptable, dans le second cas, elle ne pourrait être que très difficilement admise.

« Il y a donc, conclut M. Keller, dans l'utilisation rendue possible des rejets de mine une considération d'ordre économique qui doit contribuer fortement à rendre l'utilisation des fours électriques *obligatoires dans les régions minières du Chili disposant de forces hydrauliques.*

» Les essais pratiques que j'ai effectués m'ont montré que le chargement, la coulée et les manœuvres ont été dans les fours électriques beaucoup plus faciles même que dans les fours à manche.

» Les scories ont été très pauvres (au-dessous de 0,2 p. 100 de cuivre), l'usure des électrodes a été de 4,800 kg par tonne de minerai fondu.

» Les minerais ont tout d'abord été fondus dans un four supérieur d'élaboration telle que celui que j'ai déjà décrit, puis la matière fondue a été coulée d'une façon continue dans le four d'affinage également décrit précédemment, dans lequel un courant électrique modéré a permis la décantation complète de la matte de cuivre. C'est grâce à ce mode opératoire que les scories obtenues ont été aussi pauvres en métal.

» Ces résultats ont permis à M. de la Bouglise chargé d'établir un rapport sur la mine et sur l'adoption du traitement métallurgique de conclure :

» L'emploi des fours électriques qui ont été expérimentés à Livet permettra :

» 1° *D'abaisser le prix de revient actuel du cuivre dans la mine en question d'environ* 300 *fr par tonne.*

» 2° *L'emploi de ces fours électriques permettra d'obtenir cette économie tout en traitant les rejets actuels de la mine.*

» Et sur ces conclusions une société puissante est actuellement en formation pour l'exploitation de cette mine du Chili à l'aide des fours électriques.

» Les chiffres et considérations qui précèdent me permettent d'affirmer de la façon la plus absolue qu'à très bref délai les mines de cuivre situées près des forces hydrauliques seront amenées à adopter la fusion électrique et augmenteront ainsi considérablement de valeur en usant des ressources nouvelles que leur donnent les forces naturelles. Ayant ainsi traité la question du traitement électro-métallurgique du minerai de cuivre en vue de l'obtention des mattes, je ne m'étendrai pas spécialement sur la fabrication des mattes de nickel à cause de l'analogie qu'elle présente avec la fabrication des mattes cuivreuses. »

Le Gérant : C NAUD.

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 14 Novembre 1903. 10e Année. — N° 46

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**. Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR LES FORMES DES COURANTS DANS LES BOBINES D'INDUCTION

1. Il ne faut pas chercher dans ce qui suit un exposé complet de la théorie des bobines d'induction, mais simplement la présentation et la discussion d'un certain nombre de clichés relevés à l'oscillographe Blondel. Cette série de clichés obtenus avec des bobines différentes, selon les circonstances qui se présentaient, n'a pas l'homogénéité qui conviendrait à une démonstration logique ; néanmoins, comme on y trouve des faits qui vérifient la théorie et d'autres assez inattendus, il ne semble pas inutile de les présenter ici.

Une première explication est nécessaire : beaucoup de courbes d'oscillographes ont été déjà reproduites par la photogravure, laquelle rend fidèlement tous les aspects et les défauts du cliché. Cette manière de faire n'a pas été possible dans la circonstance et voici pourquoi : le phénomène intéressant à étudier c'est la *rupture* du courant inducteur, or, cette rupture se présente sous la forme d'une oscillation de la fréquence de 1 000 à 10 000 par seconde, il en résulte que le point lumineux, qui doit impressionner la plaque photographique, se déplace sur celle-ci avec une vitesse de l'ordre de *cent mètres par seconde !* On conçoit facilement que le tracé de cette courbe de rupture est extrêmement faible et que, s'il est suffisant pour l'œil, il est impossible de le faire voir en photogravure ; c'est pour cette raison que toute les courbes ici présentées ont été calquées soigneusement sur les clichés. L'aspect réel des courbes originales est d'ailleurs tout à fait particulier : la courbe d'établissement de courant, durant laquelle le point lumineux se déplace assez lentement — 2 à 3 m par seconde — est très fortement marquée, il y a même un épaississement de trait qui est assez gênant, tandis que la courbe de rupture est à peine visible.

**

Digitized by Google

Dans toutes les figures qui suivent, la courbe principale — courbe supérieure — représente toujours le courant primaire, tandis que la courbe inférieure représente soit la variation du flux magnétique $\frac{d\Phi}{dt}$, soit la différence de potentiel e aux bornes du primaire.

Pour obtenir la courbe qui représente, à très peu près, la loi de variation du flux, $\frac{d\Phi}{dt}$, une bobine d'exploration B, schéma figure 1, a été placée au bout du faisceau de fer, complètement isolée des deux circuits de la bobine d'induction elle-même, et cette bobine d'exploration a été reliée au circuit *volts*, O_2, de l'oscillographe, lequel mesure des courants de l'ordre de 0,5 ampère. La bobine *ampères* du même oscillographe, O_1, mesure le courant primaire.

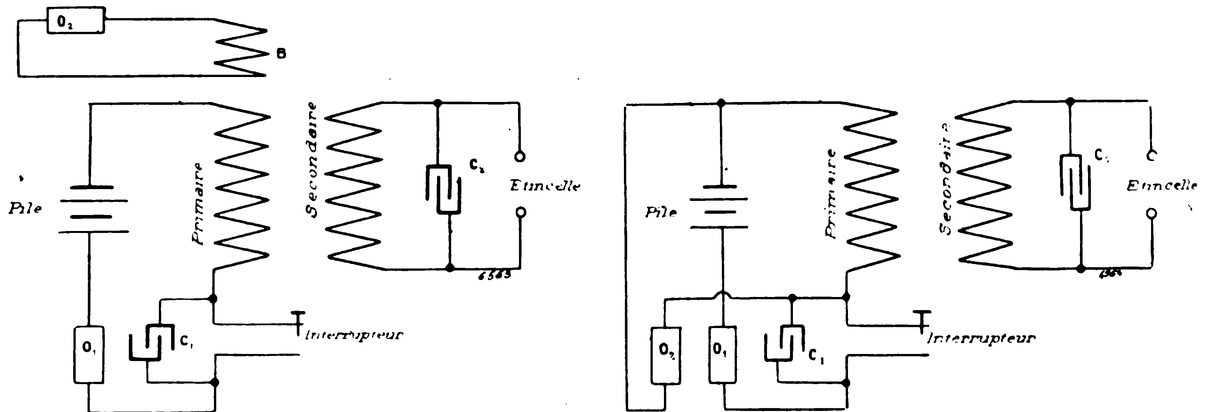


Fig. 1. Fig. 2.

La courbe de différence de potentiel e aux bornes du primaire a été relevée au moyen du même circuit *volts* de l'oscillographe ; seulement, dans ce cas figure 2, une grande résistance était introduite dans le circuit afin de réduire la grandeur de la dérivation. Cette courbe donne

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} + RI,$$

N étant le nombre de tours du circuit primaire. Ces deux courbes e et $\frac{d\Phi}{dt}$ complètent d'une façon fort utile les indications fournies par la courbe I.

Dans beaucoup de cas l'oscillographe a été conduit à la main, afin de donner à la courbe le développement convenable en fonction du temps, il en résulte que l'échelle des temps — abscisses — est inconnue. Comme on le verra, cette lacune n'est pas gênante pour les conclusions à tirer, mais il est nécessaire de s'en rappeler, car ces vitesses inégales modifient singulièrement l'aspect des courbes et différencient souvent deux courbes destinées à appuyer le même point de la discussion. Il est évident que si ces clichés avaient été faits pour des mesures suivies sur le sujet, il eut été facile de donner une vitesse connue au synchronoscope de l'oscillographe.

2. Voyons maintenant ce que l'on peut tirer des clichés ci-dessous.

La théorie indique qu'à partir du moment de la rupture, le courant primaire doit suivre une loi de la forme :

$$I = I_0 e^{-\frac{Rt}{2\mathfrak{L}}} \cos \frac{t}{\sqrt{C\mathfrak{L}}} ;$$

Digitized by Google

I_0 et I, intensité maximum et intensité au temps t;
R et $\mathcal{L}$, résistance et self-induction du circuit primaire;
C, capacité du condensateur primaire.

On doit donc observer des oscillations amorties du courant et, l'amortissement étant déterminé par le rapport $\frac{R}{\mathcal{L}}$ de la résistance du circuit à sa self-induction, les oscillations doivent décroître régulièrement, le rapport des amplitudes successives étant constant; voilà ce qu'indique la théorie. En pratique il en est autrement. Si l'on a soin d'éviter toute dépense d'énergie dans le circuit secondaire, en le supprimant, par exemple, on se trouve exactement dans les conditions de la théorie et cependant on constate deux anomalies à la loi ci-dessus :

1° *Le rapport de deux oscillations successives n'est constant que si l'on fait abstraction de la première demi-oscillation*, celle-ci étant très grande par rapport aux autres. Ensuite, à partir de la seconde demi-oscillation on constate, autant que les faibles amplitudes observées permettent de le vérifier, que le rapport devient constant, mais, — 2° *ce rapport est toujours notablement plus grand que celui qui est indiqué par le calcul;* tout se passe comme s'il y avait une résistance R beaucoup plus grande et, par suite, une dépense d'énergie beaucoup plus grande.

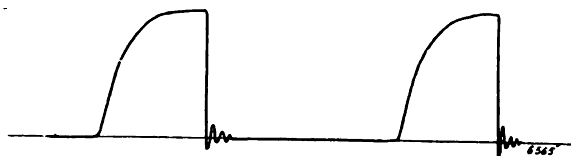


Fig. 3.

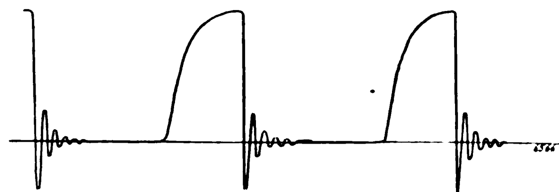


Fig. 4.

Les courbes des figures 3 et 4 viennent à l'appui de ce que nous venons de dire. La bobine essayée est d'un grand modèle, — 35 cm d'étincelles, — elle est alimentée par un circuit à 120 volts; la résistance totale du circuit est de 8 ohms, de sorte que l'intensité maximum ne peut pas dépasser 15 ampères. L'interrupteur employé est à mercure, il est mû par un moteur électrique. La vitesse du moteur étant assez constante et celle de l'oscillographe ayant varié d'une courbe à l'autre, nous pouvons, comme première approximation, prendre pour unité de temps la période complète de l'interrupteur. Les deux courbes diffèrent seulement par la capacité primaire : dans la figure 3 elle est de 1 microfarad et dans la figure 4 de 6 microfarads. Enfin, il faut ajouter que le circuit secondaire est ouvert, il ne se produit donc aucun courant extérieur à la bobine.

La comparaison de ces deux courbes met de suite en évidence un fait bien net : le rapport de la première demi-oscillation à la suivante est plus grand avec 1 microfarad qu'avec 6... En effet, les *amplitudes* relatives des oscillations relevées sur les clichés sont :

1 microfarad, amplitudes	25,5 — 6 — 4 — 2,5 — 1,5
rapports	4,25 — 1,5 — 1,6 — 1,7
6 microfarads, amplitudes	32 — 16 — 9,5 — 5,5 — 3,5 — 2
rapports	2 — 1,69 — 1,73 — 1,55 — 1,75

Abstraction faite de la première demi-oscillation les rapports sont assez constants et les faibles amplitudes observées empêchent d'affirmer nettement qu'il y a une différence entre le rapport moyen de la première série : 1,60 et celui de la seconde : 1,68.

Digitized by Google

Les durées d'oscillations rapportées à la période de l'interrupteur ont pour valeur 0,024 et 0,049 ; le rapport de ces deux nombres est 2,04. Le rapport des durées d'oscillation est comme on le sait, proportionnel à la racine carrée du rapport des capacités, or $\sqrt{6} = 2{,}45$; il y a là une petite irrégularité qui peut tenir à une variation de vitesse de l'interrupteur ou à la capacité propre du circuit secondaire.

L'anomalie constatée sur les deux clichés, dans la première demi-oscillation — anomalie qui se produit presque dans tous les cas, — s'explique fort bien si on tient compte de l'étincelle de rupture.

J'ai montré autrefois [1] que l'étincelle de rupture amène la décharge brusque du condensateur et, par suite, fait disparaître une partie de l'énergie disponible ; donc si, par l'augmentation de la capacité, on diminue ou supprime cette étincelle de rupture, l'énergie reste disponible et se dépense uniquement par effet Joule, comme cela a lieu dans les oscillations suivantes, là où la force électromotrice de self-induction est trop faible pour provoquer une étincelle à l'interrupteur. Cette expérience vient donc à l'appui de la théorie de l'étincelle de rupture, nous en trouverons d'autres plus loin qui la confirment également.

Si les pertes d'énergie, après l'étincelle de rupture, étaient uniquement dues à l'effet Joule, il devrait y avoir une décroissance plus grande des oscillations avec 6 microfarads qu'avec 1. La théorie ordinaire, qui ne tient compte que des pertes par cet effet, indique que le décrément logarithmique des oscillations λ, doit suivre la loi :

$$\lambda = \frac{1}{n-1} \log \frac{a_1}{a_n} = \frac{\pi R}{2} \sqrt{\frac{C}{\mathcal{L}}} = \frac{R}{4\mathcal{L}} \theta ;$$

a_1 et a_n, amplitudes de la première et de la n^e oscillation ;
θ, période des oscillations.

En calculant ainsi, on trouve $\lambda = 0{,}08$ et 0,19, alors que l'expérience donne 0,47 et 0,52 ; donc il y a une autre cause de pertes que l'effet Joule. L'égalité presque parfaite des valeurs mesurées de λ, dans les deux cas, semble montrer qu'il s'agit là d'une perte cyclique de la forme.

$$A I_0^m ;$$

cette forme fait immédiatement supposer que les pertes sont dues à l'hystérésis du noyau de fer.

Cette uniformité du décrément logarithmique se retrouve encore dans les clichés suivants, figures 5 et 6. Ces deux courbes se rapportent à une bobine de dimensions plus grandes que la précédente. La durée des oscillations, si elle était déterminée uniquement par le circuit primaire, serait de 0,001 seconde environ, mais comme des capacités notables ont été ajoutées aux bornes du secondaire, la mesure donne dans un cas 0,0043 et dans l'autre, 0,0029 seconde. A cause de ces capacités, le courant secondaire se prolonge assez longtemps pour que les oscillations du flux total persistent alors que le courant primaire est à peu près nul. Si nous mesurons le décrément logarithmique des oscillations sur la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$, nous trouvons 0,40 dans un cas et 0,43 dans l'autre. Le calcul d'après la formule précédente, en partant de la résistance et de la self-induction du secondaire : 12 000 ohms et 540 henrys, donne $\lambda = 0{,}024$ et 0,013. Ceci montre bien que

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 121, 27 janvier 1900.

Digitized by Google

malgré le peu d'exactitude des mesures — à peine 10 p. 100, — il est impossible d'attribuer la perte à l'effet Joule et qu'il s'agit bien d'une perte en fonction du cycle.

Ces deux courbes montrent encore un phénomène intéressant. Jusqu'ici nous n'avons considéré que la rupture du courant, d'abord parce que la variation y est plus rapide et que dans les bobines à étincelles, c'est la partie la plus intéressante, et ensuite parce que la courbe d'établissement suit la loi exponentielle bien connue. Cette loi suppose le coefficient de self-induction constant et il n'en est pas toujours ainsi ; on voit dans les figures 5 et 6 que la courbe d'établissement peut différer beaucoup de la loi théorique ; il faut tenir compte de la saturation du noyau de fer, qui a pour effet de diminuer la self-induction avant et après le maximum de perméabilité. Cette saturation joue un rôle assez important dans le Wehnelt où elle modifie beaucoup l'aspect des courbes.

3. La figure 7 montre un phénomène un peu différent. Une bobine de 25 cm d'étincelles, munie d'un rupteur atonique Carpentier, est alimentée par un courant alternatif d'une fréquence de 40 et sous une force électromotrice de 34 volts. Les bornes secondaires sont

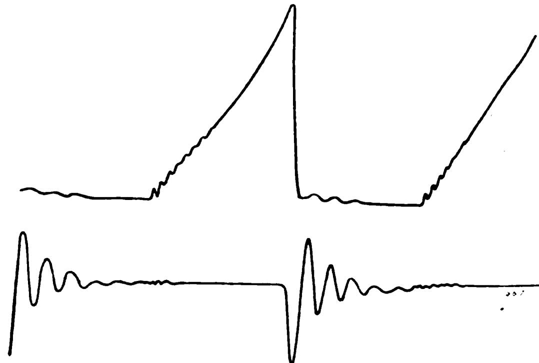


Fig. 5.

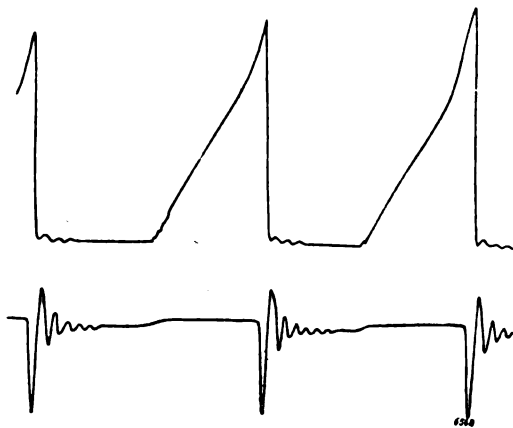


Fig. 6.

assez éloignées pour qu'il n'y ait pas d'étincelles, on constate seulement des effluves. On voit très nettement sur cette figure que les deux phases présentent des phénomènes différents ; tandis que la phase négative montre des oscillations, la phase positive n'en présente pas, mais, par contre, cette dernière montre quelques points de rebroussements dus à des étincelles de rupture ; ce sont des étincelles successives qui ont absorbé toute l'énergie et fait disparaître les oscillations. Comme on devait s'y attendre, ces étincelles ont prolongé la période de rupture et on voit en effet que le courant met environ trois fois plus de temps à tomber à o dans la phase positive que dans la phase négative. La dissymétrie de ces courbes n'a rien qui puisse nous étonner, elle tient évidemment à la dissymétrie inévitable dans la forme des contacts en platine de l'interrupteur, grâce à laquelle l'étincelle de rupture éclate plus facilement dans un sens que dans l'autre.

Relions maintenant le secondaire de cette bobine à un excitateur pointe et plateau, avec une faible distance explosive — 3 cm — nous obtenons la courbe de la figure 8, qui rappelle plutôt le courant d'un arc alternatif que celui d'une bobine d'induction. Il n'y a plus du tout d'oscillations visibles ; les petits crochets que l'on remarque sur la courbe se produisent à l'établissement du courant, ils sont dus à de faux contacts au rupteur. La dissymétrie des deux phases s'est encore accentuée, on pouvait le prévoir étant donné celle de l'excitateur.

Digitized by Google

4. Dès que l'on place une bobine dans les conditions limites de son fonctionnement, si, par exemple, on veut lui faire donner la longueur maximum d'étincelles qu'elle est susceptible de fournir avec un courant donné, on constate des irrégularités dans la marche ; les étincelles sont hésitantes, il y a des ratés plus ou moins périodiques. Dans la plupart des cas ces anomalies sont dues à un mauvais fonctionnement de l'interrupteur et il est intéressant de se rendre compte de la forme du courant dans ces conditions ; c'est ce que montre la figure 9.

La bobine qui a servi à cet essai a un coefficient de self-induction très élevé — 0,11 à 0,14 henry, selon la saturation du fer ; elle est excitée par le courant de douze accumulateurs et elle fonctionne avec un rupteur Carpentier. Dans cette expérience les bornes secondaires sont assez écartées pour qu'il n'y ait pas d'étincelles, mais au contraire, on constate de fortes étincelles au rupteur, des *crachements* énormes dus à la grandeur de la self-induction.

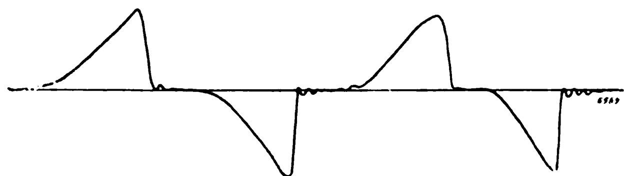


Fig. 7.

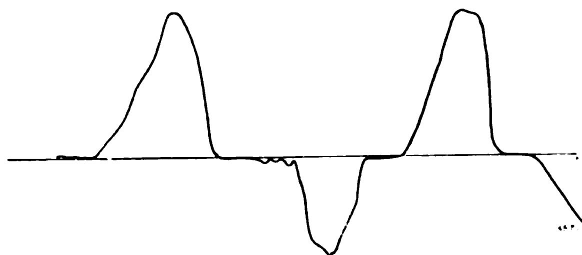


Fig. 8.

Trois ruptures successives sont visibles sur le cliché et toutes les trois sont différentes. On se rend bien compte sur la figure 9 de la succession d'étincelles qui se produisent à la rupture et qui empêchent le phénomène de prendre son développement régulier. Les points de rebroussement de la courbe du courant sont probablement trop nombreux et trop rapprochés pour être visibles, mais il suffit de regarder la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$ pour se rendre compte qu'ils existent : on voit la variation du courant osciller avant d'atteindre son maximum et celui-ci est différent dans les trois courbes. De plus, ce n'est pas la rupture qui paraît la plus régulière, — la première — qui donne la force électromotrice d'induction la plus élevée ; ceci se comprend : il a pu se produire plusieurs étincelles de rupture et même une sorte d'arc dans la troisième courbe, mais il a suffi que cet arc soit rompu à un moment où l'intensité était encore assez grande. Dans la seconde courbe il y a eu évidemment un arc assez prolongé avec quelques tentatives de rupture. Si les bornes secondaires avaient été assez rapprochées, on aurait pu avoir une étincelle à la courbe 3 et rien au deux autres, ou bien des étincelles inégales comme intensité.

5. Lorsque des capacités sont ajoutées au secondaire, les oscillations dans le circuit peuvent prendre une importance relativement plus grande que celles du primaire et cela permet de constater certains phénomènes difficiles à voir quand l'oscillation primaire prédomine. Les figures 10 et 11 sont relevées sur la bobine dont il est question ci-dessus. Les constantes sont : self-induction primaire, 0,11 à 0,14 henry ; self-induction secondaire, 93 henrys, dans le cas d'une très faible aimantation. Ces indications sont seulement approchées, mais elles suffisent car il faut tenir compte de l'intensité du courant dans les deux circuits à la fois, ce qui est rarement possible.

Dans la figure 10 la bobine est commandée par un rupteur atonique Carpentier, ce qui fait que le temps perdu entre la rupture et la fermeture suivante du circuit est très petit.

Digitized by Google

Une capacité de 0,0026 microfarad a été ajoutée au secondaire. Il n'y a pas d'étincelles au secondaire.

Deux ruptures successives sont dessinées sur le cliché. Cette figure est intéressante, car elle montre nettement trois oscillations de longueurs différentes superposées.

Les plus courtes oscillations, celles qui se produisent à la rupture, sont les plus difficiles à expliquer, car leur période est d'environ 0,00038 seconde, tandis que les oscillations primaires *calculées* devraient avoir 0,0015 seconde ?

Les oscillations moyennes, celles que l'on voit se produire à l'établissement du courant, ont une période d'environ 0,0009 seconde. Enfin les plus longues oscillations ont une période de 0,0035 seconde ; elles sont surtout visibles sur la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$ tandis que sur la courbe I elles sont masquées par les oscillations courtes. Ces longues oscillations semblent appartenir au circuit secondaire, car la période *calculée* pour celui-ci est de 0,0031 seconde.

Les grandes oscillations de $\frac{d\Phi}{dt}$ disparaissent brusquement dès que le circuit primaire

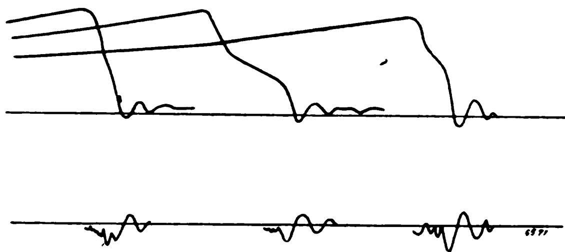


Fig. 9.

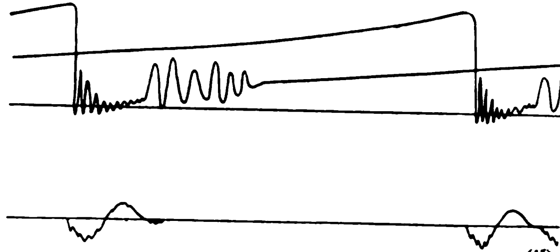


Fig. 10.

se trouve refermé ; l'action des deux circuits sur le noyau de fer est telle que celui-ci est à peine aimanté ; il en résulte une variation très considérable du coefficient de self-induction, ce qui rend très approximatifs tous les calculs de période d'oscillation et de force électromotrice basés sur les constantes mesurées. Le primaire joue, vis-à-vis du noyau de fer, le rôle d'un écran, il empêche son aimantation par le courant secondaire et réciproquement.

Dans la figure 11, la bobine se trouve dans des conditions identiques comme capacité et self-induction, mais elle est commandée par un interrupteur à mercure. Le temps perdu étant plus grand, les oscillations du flux sont plus longtemps visibles, aussi bien sur I que sur $\frac{d\Phi}{dt}$, et on voit qu'elles diffèrent nettement des oscillations du circuit primaire, le rapport entre les deux étant voisin de 10. Enfin, au moment de la fermeture du primaire, les oscillations secondaires sont assez amorties pour que le courant s'établisse sans oscillations, contrairement à la courbe précédente.

Ce qui ressort de ces deux courbes c'est l'existence d'oscillations complexes, dans les bobines comme dans les courants alternatifs ; il reste à savoir si l'oscillation très courte du primaire est une harmonique de l'oscillation longue, ou si elles n'ont entre elles aucun rapport simple ?

6. Lorsque le courant secondaire est relativement intense, soit par suite de la faible résistance du circuit et de l'étincelle, soit à cause de la présence de grandes capacités, la réaction du secondaire peut se manifester par des effets assez inattendus. C'est ainsi qu'avec les rupteurs rapides, dans lesquels le temps perdu est très petit, le circuit primaire se trouve fermé assez tôt pour que les oscillations secondaires apportent une réelle perturbation ; nous venons d'en voir un exemple (fig. 10) en voici un autre (fig. 11). Ici l'induction

Digitized by Google

mutuelle des deux circuits est plus grande, l'énergie emmagasinée dans le secondaire plus grande aussi car la force électromotrice est plus élevée, de sorte qu'à la fermeture du primaire la force électromotrice induite par le courant secondaire est du même ordre que celle de la source du courant; des oscillations se produisent et l'intensité dépasse de beaucoup la valeur qu'elle devrait atteindre ; les oscillations durent jusqu'à la rupture. Le fonctionnement du rupteur est très irrégulier comme on le voit sur la courbe 12 où toutes les ruptures ont été indiquées par la lettre R.

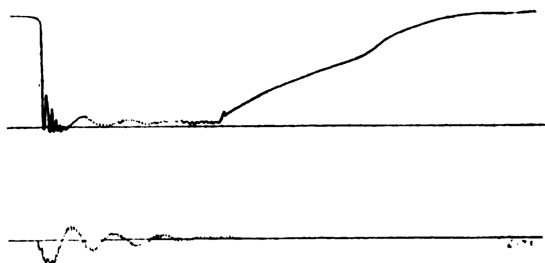


Fig. 11.

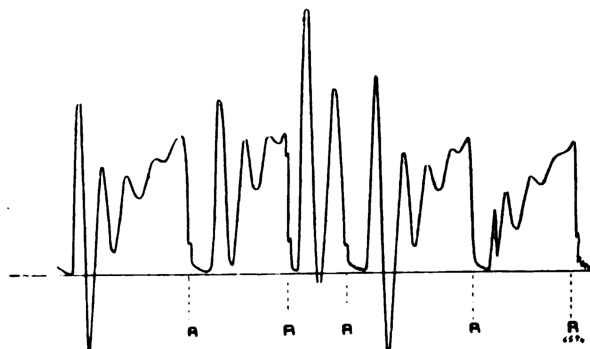


Fig. 12.

Si, sur la même bobine, nous supprimons le condensateur primaire, la rupture se fait par échelons, le courant induit tendant à chaque instant à faire rétablir le courant primaire (fig. 13).

Une petite différence dans le réglage du rupteur et dans les coefficients d'induction modifie sensiblement la forme des courbes. Sur la figure 14 on voit l'effet produit sur une bobine un peu plus grande que la précédente : au moment de la fermeture, le rupteur vibre, de faux contacts s'établissent et, comme ils correspondent à des phases différentes de l'oscillation secondaire, on comprend les crochets brusques, tanfôt positifs, tantôt négatifs.

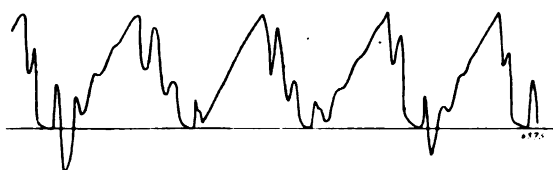


Fig. 13.

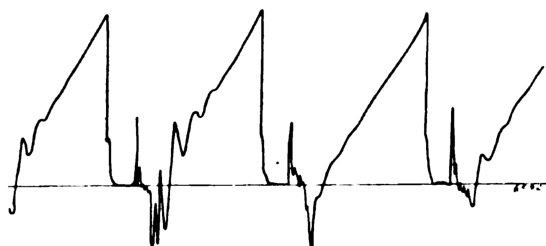


Fig. 14.

Supprimons la capacité secondaire de la même bobine et rapprochons les bornes secondaires de façon à obtenir des étincelles de 20 cm. Le courant secondaire est alors relativement peu important, la courbe (fig. 15) prend une forme assez régulière; les oscillations primaires s'amortissent très vite à cause de l'étincelle secondaire. La grandeur de $\frac{d\Phi}{dt}$ donne une idée des forces électromotrices développées par l'induction.

Dans la figure 15, le temps perdu du rupteur, c'est-à-dire l'intervalle entre la rupture et la fermeture suivante, représente à peine le quart de la période de l'interrupteur. Pre-

Digitized by Google

nons la même bobine et rapprochons les bornes secondaires à 2 cm seulement. Le courant induit devient très important, il retarde la désaimantation du noyau de fer, de sorte que celui-ci retient longtemps la palette du rupteur, le circuit primaire reste ouvert et le temps perdu augmente énormément comme on le voit sur la figure 16 où il est plus long que le temps d'établissement du courant. La courbe $\frac{d\Phi}{dt}$ montre que les forces électromotrices

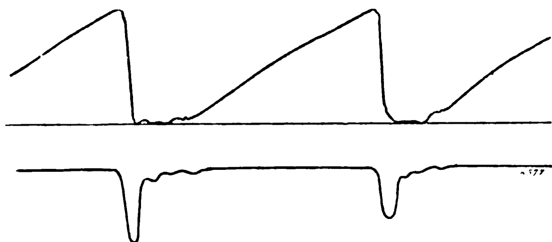


Fig. 15.

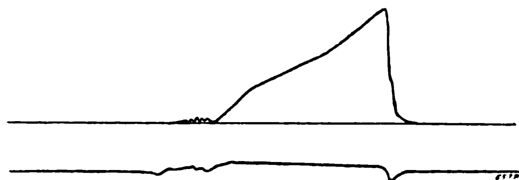


Fig. 16.

d'induction sont aussi beaucoup plus faibles, bien qu'il n'y ait rien de changé sauf la longueur d'étincelles.

Remettons la capacité secondaire et écartons les bornes de ce circuit de façon qu'il n'y éclate pas d'étincelles (fig. 17). Dans les conditions de réglage actuel, le circuit primaire se ferme presque au moment d'une oscillation négative, de sorte qu'on obtient d'abord un courant de sens opposé à celui que donne la source du courant seule. Cette figure montre des points de rebroussement nets à la rupture et on retrouve ceux-ci sur la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$; cette dernière courbe monte d'abord très vite, s'arrête brusquement, fléchit, puis remonte

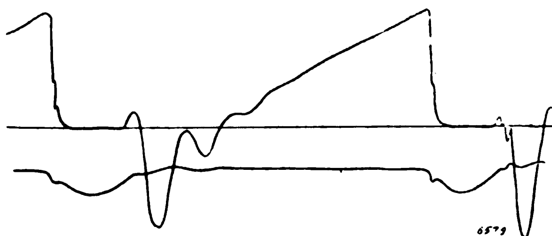


Fig. 17.

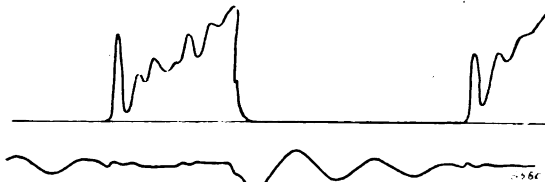


Fig. 18.

ensuite plus lentement, parce qu'elle part d'une intensité initiale plus faible. Théoriquement la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$ devrait repasser par zéro à chaque point de rebroussement, mais il ne faut pas oublier que cette courbe est celle d'un courant dans un circuit fermé — oscillographe et bobine d'exploration — et que, par suite, elle ne représente pas rigoureusement $\frac{d\Phi}{dt}$; ce n'est que pour abréger que nous la désignons ainsi.

La même bobine, dans les mêmes conditions, mais avec un interrupteur à mercure donnant un temps perdu beaucoup plus long, met bien en évidence les mêmes phénomènes (fig. 18). On voit le développement normal des oscillations secondaires, pendant le temps perdu, puis, au moment de la fermeture, la période change brusquement par suite de la diminution de la self-induction.

Enfin si, toujours avec la même bobine et la même capacité secondaire, nous rapprochons les bornes de façon à avoir des étincelles de 10 mm, nous voyons apparaître un nou-

****

Digitized by Google

veau crochet de la courbe $\frac{d\Phi}{dt}$ (fig. 19). Celui-ci est dû à l'étincelle secondaire ; il se produit avec un retard assez considérable sur le rupteur, ce qui s'explique par la durée de l'oscillation secondaire ; ce crochet est à peine visible sur la courbe du courant primaire.

7. Contrairement à la théorie généralement admise, les forces électromotrices maxima mises en jeu dans les deux circuits ne dépendent pas seulement de l'intensité du

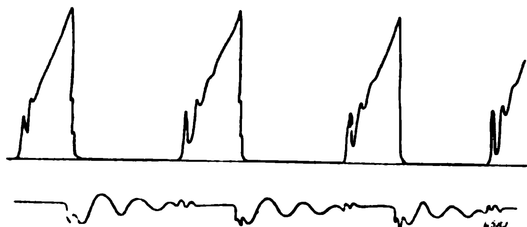


Fig. 19.

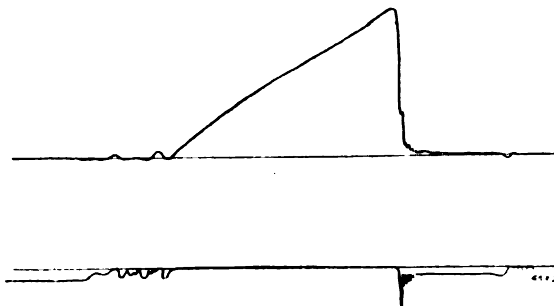


Fig. 20.

courant au moment de la rupture, mais aussi des résistances opposées aux étincelles, autant au secondaire qu'à l'interrupteur, comme nous l'avons déjà rappelé plus haut.

Les quatre figures suivantes mettent ce fait bien en évidence (fig. 20 à 23). La bobine employée peut donner normalement 35 cm d'étincelles ; elle est commandée par un rupteur Carpentier et alimentée par 12 accumulateurs. Dans les quatre expériences un seul facteur a varié, c'est la longueur d'étincelle au secondaire ; il est facile de voir sur les figures que le courant primaire s'établit toujours de la même façon et qu'il atteint toujours la même intensité maximum. Les étincelles sont produites entre pointe positive et plateau négatif ; leurs longueurs sont de 5, 10, 20 et 30 cm.

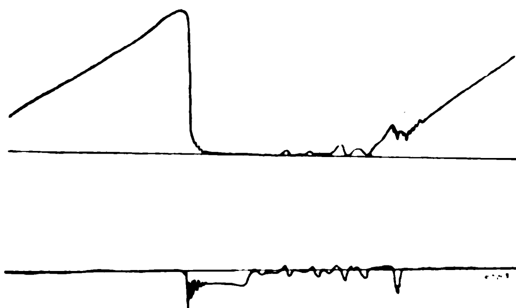


Fig. 21.

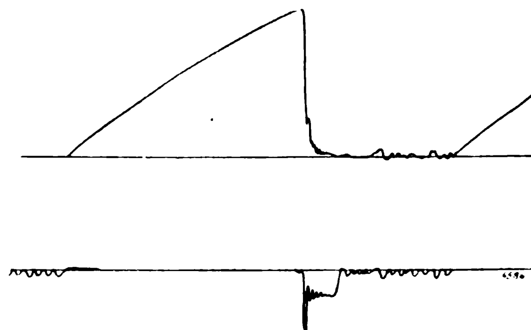


Fig. 22.

Les figures montrent deux courbes : celle du courant inducteur et celle de la différence de potentiel aux bornes du primaire (Schéma figure 2).

En dehors des points que nous allons examiner les courbes présentent, pendant le temps perdu et à l'établissement du courant, les crochets brusques et irréguliers dus à de faux contacts au rupteur ; nous ne tiendrons pas compte de cette partie des courbes.

La première constatation intéressante à tirer de ces figures c'est que la différence de potentiel maximum aux bornes du primaire croît assez régulièrement avec la longueur d'étincelles au secondaire et, comme nous savons qu'il y a entre les forces électromotrices induites dans les deux circuits un rapport constant, égal, à peu près, au rapport des nom-

Digitized by Google

bres de tours, ces expériences démontrent bien ce que nous disions, que les forces électromotrices maxima sont limitées par la résistance à l'étincelle dans l'un ou l'autre des circuits. Il est évident qu'ici, avec la théorie habituelle, les valeurs calculées devraient être égales puisque les intensités sont égales.

Il est possible de tirer de ces clichés des indications approchées sur les différences de potentiel qui correspondent aux longueurs d'étincelles produites, sachant que la bobine employée a un rapport de 155 entre ses nombres de tours.

Longueur d'étincelles	Différence de potentiel primaire	Force électromotrice secondaire
5 cm	277 volts	43 000 volts
10 »	330 »	51 000 »
20 »	425 »	65 000 »
30 »	670 »	103 000 »

Il semble que cette méthode étudiée plus à fond est susceptible de fournir des indications assez exactes sur les potentiels explosifs.

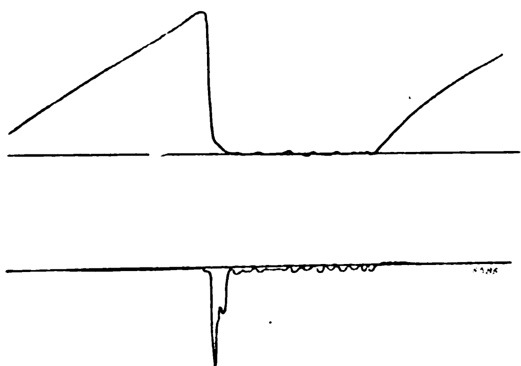


Fig. 23.

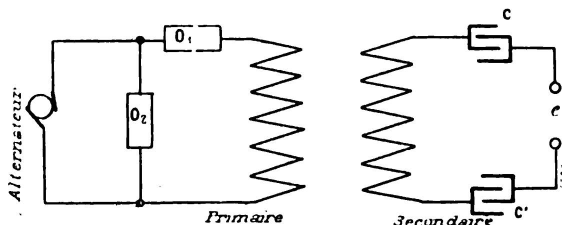


Fig. 24.

M. Klingelfuss, de Bâle, a déjà appliqué une méthode très voisine de celle-ci en mesurant la différence de potentiel maximum au primaire à l'aide d'un excitateur à étincelles. Les chiffres qu'il obtient pour les potentiels explosifs sont plus élevés que ceux ci-dessus; d'autre part ses expériences sont en contradiction complète avec les précédentes, car il trouve la distance explosive au primaire *indépendante de la longueur d'étincelles secondaire*, mais *affectée par la présence ou l'absence du secondaire ?* (1).

Lorsque les étincelles sont répétées, on voit des variations continuelles du potentiel explosif se produire, ce qui explique les anomalies des résultats ci-dessus et fait comprendre une partie des irrégularités si souvent constatées dans le fonctionnement des bobines d'induction.

Une seconde observation non moins intéressante peut être faite sur ces quatre figures. Aussitôt après le maximum de la différence de potentiel des oscillations, très vite amorties, se produisent, mais la courbe e ne retombe pas à zéro : on voit qu'il existe *pendant un temps d'autant plus long que l'étincelle est plus courte*, une force électromotrice de même sens que celle de la décharge et de *valeur presque constante*. Il semble que pendant ce temps on ait $\frac{d\Phi}{dt}$ = constante, ce qui montre que le courant induit retarde la désaimantation

(1) Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel, XIII, cahier 2, p. 227.

Digitized by Google

du noyau de fer. Les durées de ces forces électromotrices de désaimantation sont approximativement :

Etincelles 5 cm	Durée 0,0086 seconde
10 »	48 »
20 »	26 »
30 »	10 »

8. Une expérience indirecte va nous fixer les idées sur l'ordre de grandeur de la capacité propre du secondaire des bobines. Les figures 25, 26 et 27 ont été relevées sur un transformateur construit pour la radiographie sur les indications de M. Villard. Le secondaire de ce transformateur est construit comme un induit de bobine d'induction et par ses dimensions et le nombre des tours il équivaut à une bobine de 40 cm d'étincelles environ ; la capacité que l'on mesure est donc celle de cette grandeur de bobine. Le primaire est enroulé sur un noyau de fer à circuit magnétique entièrement fermé. Le coefficient de transformation est voisin de 500.

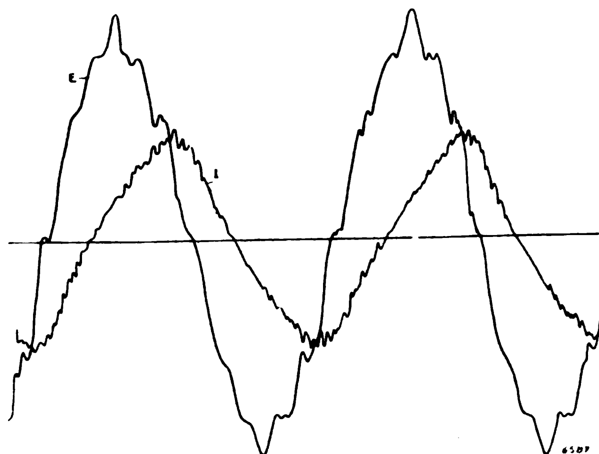


Fig. 25.

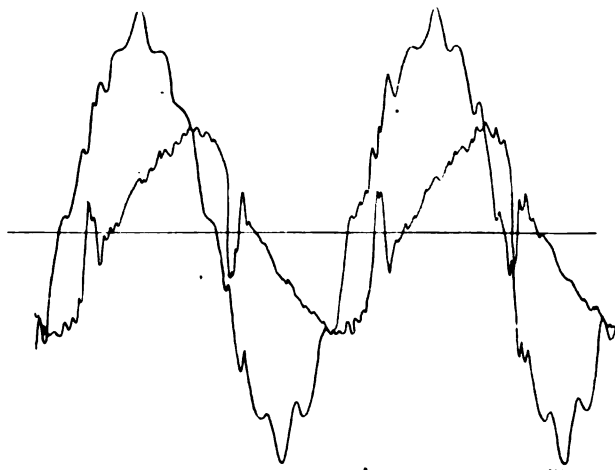


Fig. 26.

Le coefficient de self-induction primaire moyen, calculé d'après l'intensité du courant alternatif, est de 0,05 henry ; la mesure directe donne depuis 0,026 jusqu'à 0,053, selon l'intensité du courant d'excitation. Le coefficient d'induction mutuelle varie entre 14,7 et 23; en prenant 20 comme moyenne, on trouve que le coefficient de self-induction secondaire doit être voisin de 8000.

Le schéma de l'expérience est donné par la figure 24. Les deux oscillographes indiquent, l'un la différence de potentiel aux bornes, — c'est la courbe dentelée dont les ordonnées sont les plus grandes, l'autre l'intensité primaire. Le secondaire est connecté à deux condensateurs C et C' dont les armatures indépendantes sont reliées à l'excitateur à étincelles *e*.

Dans la figure 25 la distance de l'excitateur *e* est telle qu'il n'éclate pas d'étincelles. La courbe du courant primaire diffère totalement de celle de la différence de potentiel ; elle présente l'inclinaison connue due à la présence du noyau de fer saturé ; l'harmonique 11 du courant inducteur a disparu, étouffé par la self-induction du circuit, mais un harmonique de l'ordre du 25[e] apparaît. Ce dernier n'est visible que grâce au renforcement produit par la résonance du circuit secondaire ; nous avons donc là un moyen de connaître la capacité de ce circuit.

Digitized by Google

Dans la seconde expérience, figure 26, les bornes de *e* ont été suffisamment rapprochées pour qu'une étincelle puisse jaillir ; la courbe conserve son allure générale, sauf au moment où l'étincelle éclate ; il se produit alors une variation très brusque et très intense dans le courant primaire.

Enfin, en mettant l'excitateur *e* en court-circuit, on ajoute, à la capacité propre du secondaire, celle des deux condensateurs C et C′, en cascade. Cette adjonction met en résonnance l'harmonique 11 de la force électromotrice et la courbe prend la forme très remarquable de la figure 27.

Les figures 25 et 27 nous donnent un moyen de connaître *l'ordre de grandeur* de la capacité propre du secondaire et, d'autre part, l'anomalie considérable qui se manifeste dans les calculs montre, une fois de plus, qu'il est impossible, à cause du fer, de se baser sur les coefficients d'induction mesurés sur les circuits séparés. Le calcul devrait se faire, comme pour les transformateurs industriels, en tenant compte des deux courants : primaire et secondaire ; malheureusement, dans la bobine d'induction, le courant secondaire est rarement connu.

Essayons néanmoins de tirer les résultats possibles de ces expériences. L'harmonique 25 étant en résonance, le courant secondaire est assez faible pour permettre de prendre, comme première approximation, le chiffre de 8 000 henrys indiqué plus haut pour la self-induction secondaire. Comme la fréquence est 40, la capacité cherchée est de l'ordre de de 0,000 003 microfarad.

Si nous essayons de faire le calcul inverse pour l'harmonique 11, en partant de la capacité des condensateurs, laquelle, mesurée par une méthode directe, a été trouvée égale à 0,000 500 microfarad, nous trouvons que la self-induction secondaire est seulement 250 henrys au lieu de 8 000. Cet exemple confirme bien ce que nous disions plus haut, elle montre que dans le cas de l'harmonique 11, le courant secondaire est assez intense pour réduire énormément l'aimantation du fer, mais, comme avec l'harmonique 25 cette intensité est beaucoup plus faible, cette anomalie ne doit pas exister et on peut, à peu près, se baser sur le chiffre calculé pour la capacité secondaire.

Cette capacité est du même ordre de grandeur que celle qu'avait mesurée Walter par l'observation des oscillations [1] ; c'est la capacité *fictive* de la bobine, celle qui entre dans le calcul des résonances.

9. Nous avons déjà publié ici même [2] des courbes observées au rhéographe et relatives au fonctionnement des interrupteurs électrolytiques ; les courbes suivantes, photographiées avec l'oscillographe, montrent quelques cas non moins intéressants. Les figures 28, 29 et 30 sont relevées sur une bobine de 25 cm d'étincelles ; l'interrupteur Wehnelt est alimenté par un réseau de courant continu à 120 volts. L'échelle des temps est différente dans les trois courbes.

Dans la figure 28, la bobine ne fournit pas d'étincelles au secondaire. La première chose à remarquer c'est que l'intensité ne passe jamais par zéro ; l'étincelle d'extra courant, qui referme le circuit, se produit toujours avant l'annulation du courant. Une seconde remarque s'impose : c'est que la variation du courant est presque aussi grande à l'établissement qu'à la rupture — rapport 1 à 2 environ — par conséquent les forces électromotrices engendrées, à la fermeture et à la rupture, étant du même ordre, il est possible, dans ce cas, d'obtenir *deux* étincelles pour *une seule* rupture ; le fait a déjà été signalé.

---

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 219, 15 nov. 1902.
[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 44, 15 avril 1899.

Digitized by Google

Tous ceux qui ont pratiqué le Wehnelt savent qu'en faisant donner à une bobine une étincelle très chaude, ayant l'aspect d'une flamme, il suffit de souffler cette flamme pour la résoudre en une quantité d'étincelles ; en même temps, la note plus ou moins aiguë qui accompagne l'étincelle baisse de ton. La figure 29 montre ce phénomène ; le soufflage produit des variations rythmées dans lesquelles le rapport des fréquences est environ 2. Chose curieuse, c'est quand la fréquence est la plus grande que la rupture se produit le plus loin du zéro.

En ajoutant une résistance dans le circuit, la fréquence est fortement réduite et la courbe devient très irrégulière (fig. 30).

Un point qui a été très discuté est celui de savoir si les interrupteurs électrolytiques donnent une fréquence constante sur courant alternatif. Ce que l'on sait de leur fonction-

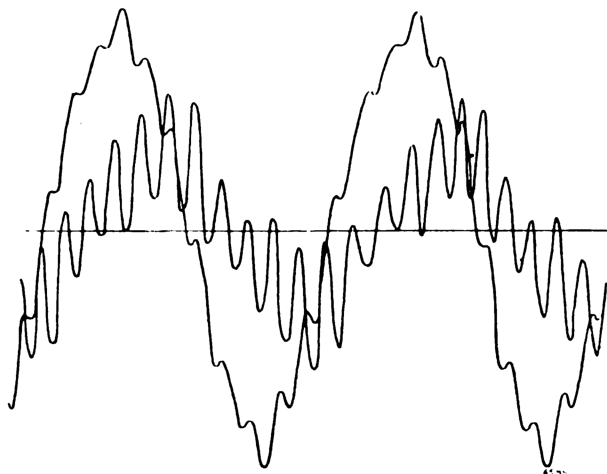


Fig. 27.

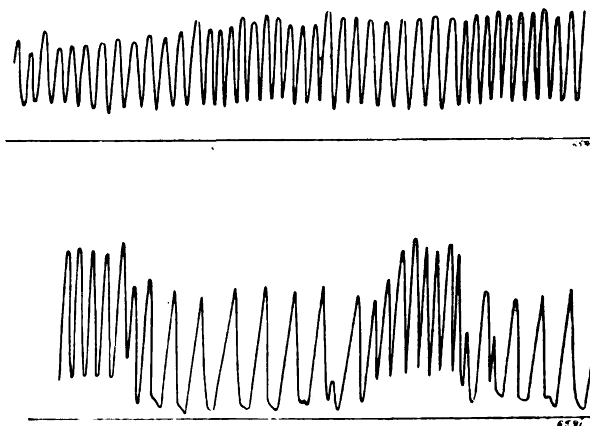


Fig. 28 et 29.

nement conduit naturellement à cette idée, que la période doit être plus courte au maximum de la phase que vers le zéro. Certains expérimentateurs ont démontré le fait à l'aide du miroir tournant, d'autres l'ont nié. Les uns et les autres ont raison, mais il faut s'entendre : si les conditions de l'expérience sont telles que plusieurs ruptures se produisent dans chaque phase, on voit nettement la variation de période ; mais si la self-induction et la surface d'anode sont trop grandes pour la force électromotrice employée, on obtient une ou deux ruptures par phase et le phénomène se trouve masqué. La figure 31 a été obtenue en intercalant sur un circuit alternatif un primaire de bobine d'induction ayant seulement 0,0028 henry ; la différence de potentiel efficace étant de 90 volts, l'intensité efficace était de 5,5 ampères.

Le Wehnelt est, comme on le sait, un interrupteur dissymétrique ; en effet, on voit nettement que les deux phases sont inégales : il y a 9 ruptures dans l'une et seulement 7 dans l'autre ; la diminution de la durée de la période au maximum de la phase est très accentuée ; cette courbe n'a pas une régularité mathématique parce que le courant employé est loin d'être sinusoïdal et parce que les phénomènes électrolytiques sont rarement réguliers, comme le montrent les figures 28, 29 et 30.

10. Ces courbes montrent ce que l'on peut attendre de l'emploi des oscillographes dans l'étude de la bobine d'induction ; elles mettent bien en évidence l'insuffisance actuelle de nos théories sur cet instrument, faute de données certaines sur ce qui se passe et à cause de la grande complexité des phénomènes qui peuvent se produire.

Digitized by Google

Nous pouvons néanmoins essayer de tirer, des observations ci-dessus, quelques conclusions et dire :

L'amortissement de la première oscillation est dû aux étincelles, aussi bien primaires que secondaires.

L'hystérésis paraît jouer un rôle important dans l'amortissement des oscillations suivantes.

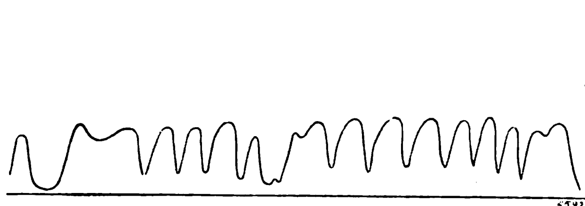


Fig. 30.

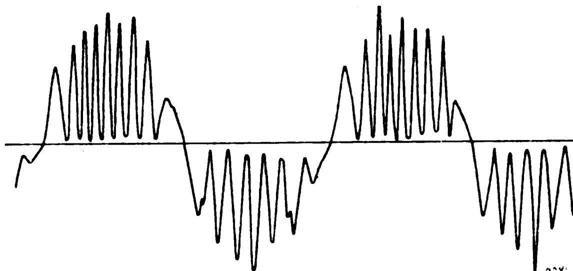


Fig. 31.

Les oscillations ne sont pas simples, au moins pas toujours, elles sont la résultante de plusieurs oscillations de période et d'amortissement différents.

Le courant secondaire ralentit la désaimantation et peut troubler le fonctionnement des interrupteurs.

Les forces électromotrices d'induction développées dans les deux circuits, sont, toutes choses égales d'ailleurs, fonction des résistances opposées aux étincelles, et non pas fonction de l'intensité maximum du courant primaire, pourvu, toutefois, que celle-ci soit assez élevée.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu, par **E. Hospitalier**. *L'Industrie électrique*, t. XII, p. 445-446, 10 octobre 1903.

L'auteur rappelle que diverses formules ont été proposées pour faire ressortir les mérites d'une machine à courant continu par la valeur plus ou moins basse ou plus ou moins élevée d'un coefficient C, et indique ensuite une nouvelle formule proposée par M. Hobart.

Les formules dues à Kapp, Steinmetz, Mavor et S. Thompson, peuvent s'écrire :

$$P = Cd^2l\omega \qquad \text{(Kapp)},$$

$$P = \frac{1}{C}\,dl \qquad \text{(Steinmetz)},$$

$$P = CV \qquad \text{(Mavor)},$$

$$P = CV\omega \qquad \text{(S. Thompson)},$$

où d et l désignent le diamètre et la longueur de l'induit, ω la vitesse angulaire, V le volume de la zone active ou couronne occupée par la denture ou l'enroulement, P la puissance utile à pleine charge normale, $2p$ le nombre des pôles.

Ces formules ne tiennent aucun compte des connexions des extrémités de leur enroulement. Celle que M. H.-M. Hobart a proposée récemment en tient compte en faisant intervenir, au lieu de la longueur l de l'induit, la longueur l des *fils* de l'induit; cette formule est

$$P = C\pi dl\rho\omega \qquad \text{(Hobart)}.$$

Elle montre que le coefficient C, considéré pour la comparaison, est d'autant plus grand que la puissance de la machine est plus grande pour une même vitesse angulaire ω et

Digitized by Google

pour une même surface totale $\pi d l_f$ d'enroulement induit.

M. Hobart justifie l'exactitude de cette formule en montrant que le lieu des points obtenus, en prenant comme abscisses la surface de l'induit $\pi d l_f$ et comme ordonnées le *prix* de la machine, sauf de très rares exceptions justifiées par des conditions spéciales, est une droite passant par l'origine; remarquons que cette justification suppose que le prix est proportionnel au quotient P : ω, c'est-à-dire la puissance par tour.

Le coefficient C est nécessairement une fonction de la puissance et de la vitesse angulaire; il est, en effet, évident que, toutes choses égales d'ailleurs, il doit croître avec la puissance de la machine et décroitre quand la vitesse angulaire croît. Pour permettre la comparaison entre deux machines, il faut donc connaître la valeur de C pour chaque valeur de la puissance et de la vitesse angulaire. M. Hobart a fait ce calcul pour des puissances allant jusqu'à 2 800 kilowatts et pour des vitesses angulaires de 100, 200 et 300 t : m. En portant les puissances en abscisses et les coefficients C correspondant à une même vitesse en ordonnées, il obtient une courbe montant assez rapidement d'abord pour redescendre ensuite. Les trois courbes relatives aux vitesses angulaires indiquées s'écartent peu l'une de l'autre pour les puissances ne dépassant pas 500 kilowatts; au delà, les courbes montent d'autant moins et redescendent d'autant plus vite que la vitesse de rotation est plus grande. En d'autres termes, ces courbes montrent qu'à vitesse de rotation égale il y a une puissance pour laquelle le coefficient C est maximum; qu'à partir de ce ce maximum C décroît quand la vitesse angulaire augmente; enfin, que la puissance correspondant au maximum de C diminue aussi pour l'augmentation de la vitesse.

Il faut donc conclure de là, si toutefois la formule de M. Hobart est acceptée sans réserve, que la construction des dynamos de grande puissance et de grande vitesse angulaire est moins satisfaisante que celle des dynamos de puissance moyenne et de faible vitesse. Il y aurait, par conséquent, lieu de perfectionner cette construction, les machines à grande vitesse présentant aujourd'hui un intérêt tout spécial non seulement au point de vue de leur commande directe par turbines à vapeur, mais encore pour leur emploi dans les grandes sous-stations de transformation où elles sont commandées par des moteurs à courants alternatifs, moteurs qui sont d'autant meilleurs et plus économiques qu'ils tournent plus vite.

Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu, par **R.-V. Picou.** *L'Industrie électrique*, t. XII, p. 469-471, 25 octobre 1903.

L'auteur se demande d'abord si de telles formules offrent une utilité ou une valeur quelconque. Sa réponse est négative. « Tout d'abord, dit-il, il semble qu'il conviendrait d'en finir une bonne fois avec cette notion de machines électriques meilleures les unes que les autres d'une façon absolue, intrinsèquement. Cela pouvait paraître vrai à une époque où tous les éléments de calcul de ces machines n'avaient pas encore été clairement dégagés des formules physiques. Mais aujourd'hui qu'il n'en est plus ainsi, il semble que le simple bon sens doit seulement conduire à ce raisonnement : pour une application donnée, il y a, dans un groupe de machines, l'une d'elles qui est mieux appropriée que les autres à cette application. Mais pour un autre emploi, ce pourra être une autre machine du groupe. Ce n'est donc pas en elles-mêmes que les machines doivent être appréciées, mais en raison de leur aptitude à remplir la fonction déterminée qui leur est assignée. Les machines sont établies pour servir à quelque chose; elles le font bien ou mal, voilà tout. Aucune formule empirique ne peut donc prétendre à une valeur quelconque, qui ne considère la dynamo qu'en elle-même. »

M. Picou cherche ensuite la signification physique du coefficient C des cinq formules indiquées dans la revue précédente. Pour cela il cherche l'expression complète de la puissance $P = EI$.

La force électromotrice E peut s'écrire

$$E = 4nf\Phi,$$

n étant le nombre de spires entre balais, f la fréquence dans l'induit, Φ le flux émanant d'un pôle. Or

$$\Phi = \mathcal{H} l a = \mathcal{H} l \alpha \frac{\pi d}{2p},$$

H désignant le champ magnétique moyen dans l'entrefer, l et d les longueur et diamètre de l'induit, α le rapport $a : b$ de l'arc polaire a au pas polaire b, $2p$ le nombre des pôles.

Digitized by Google

Si n_0 est le nombre total de conducteurs périphériques sur l'induit et si, pour fixer les idées (car le résultat final est indépendant de cette hypothèse), on suppose un tambour bobiné en parallèle, on a

$$n = \frac{n_0}{4p}.$$

On pourra donc écrire

$$E = \frac{\pi}{60} \frac{dl\omega n_0 \alpha \mathcal{H}}{2p}, \qquad (1)$$

forme qui convient particulièrement au cas d'un induit lisse.

Pour un induit denté, on peut introduire, au lieu du champ $\mathcal{H}$, la valeur $\mathfrak{B}$ de l'induction moyenne apparente de la denture sous la face polaire. En appelant β le rapport de la largeur de la denture au pas dentaire, l'expression de Φ devient

$$\Phi = \mathfrak{B} l \beta \alpha \frac{\pi d}{2p},$$

et celle de E

$$E = \frac{\pi}{60} \frac{dl\omega n_0 \alpha \beta \mathfrak{B}}{2p}. \qquad (1')$$

Pour calculer l'intensité I du courant extérieur, remarquons qu'elle est égale au produit $2pi_0$, i_0 étant le courant par conducteur qui peut être exprimé en fonction de la densité linéaire δ en ampère-conducteur par centimètre de circonférence de l'induit :

$$n_0 i_0 = \pi d \delta.$$

Donc

$$I = \frac{2p\pi d\delta}{n_0}. \qquad (2)$$

Sur un induit à denture, il est préférable de rapporter le courant à la densité superficielle Δ rapportée à la section totale des rainures (amp : cm²). Si h est la profondeur de la rainure, on a

$$n_0 i_0 = (1 - \beta)\, \pi d h \Delta, \qquad (2')$$

et

$$I = \frac{2p\,(1 - \beta)\, \pi d h \Delta}{n_0}.$$

La puissance pourra donc s'érire

$$P = \frac{\pi^2}{60} \alpha \mathcal{H} \delta . d^2 l \omega, \qquad (3)$$

$$P = \frac{\pi^2}{60} \alpha \beta\, (1 - \beta)\, h \mathfrak{B} \Delta d^2 l \omega, \qquad (3')$$

ou, encore en appelant v la vitesse linéaire à la périphérie de l'induit.

$$P = \pi \alpha \mathcal{H} \delta d l v, \qquad (4)$$

$$P = \pi \alpha \beta\, (1 - \beta)\, \mathfrak{B} \Delta h d l v. \qquad (4')$$

On voit alors facilement la signification des coefficients C des formules de comparaison indiquées précédemment. et on peut dès lors préciser les valeurs limites et moyennes de la soi-disant constante C.

M. Picou fait cette recherche pour le coefficient de la formule de Kapp. Si on prend les données publiées par M. Guilbert sur les machines de l'Exposition de 1900, on trouve que

α	varie de	0,7	à	0,8 ;	valeur extrême	0,82
$\mathcal{H}$	»	7 000	à	9 000	»	10 000
δ	»	14	à	20	»	25

Au moyen de ces chiffres, on reconnaît que les valeurs du produit $\frac{\pi^2}{60} \alpha \mathcal{H} \delta$ qui, d'après l'expression (3) de la puissance, représente le symbole C, varient entre $11,4.10^3$ et 24.10^3, mais que les valeurs de beaucoup les plus répandues sont comprises entre 16.10^3 et $18,5.10^3$.

M. Picou donne ensuite l'expression du coefficient C pour chacune des formules de comparaison ; il suffit d'identifier les seconds membres de ces formules avec les seconds membres de (3) ou (3'), (4) ou (4').

Remarquant que, d'après les formules (3) ou (4), la puissance est proportionnelle au volume de la machine, à la vitesse et aux densités électriques et magnétiques, M. Picou conclut que : « Toute formule de comparaison qui contiendra toutes ces quantités aura une valeur ; mais toutes celles qui ne renferment que partie d'entre elles ne peuvent avoir aucune signification précise. »

En terminant, l'auteur fait observer que, comme formule de première approximation pour l'établissement des dimensions d'une machine, les formules dites de comparaison peuvent être de quelque utilité. Mais alors, autant prendre les formules (4) et (4') qui sont plus pratiques que les formules empiriques données jusqu'ici.

Transformation d'un courant pulsant en courant alternatif, par **D.-A. Goldhammer.** *Physikalische Zeitschrift*, p. 103-110, novembre 1902.

Les interrupteurs transforment un courant

****

Digitized by Google

continu en un courant ondulé, superposition d'un courant continu i_m et d'un courant alternatif, qui est en général dissymétrique.

Si i est l'intensité instantanée du courant ondulé,

$$i = i_m + \Sigma\, i_k \sin(p_k t + \alpha_k)$$

où

$$p_k = \frac{2\pi k}{T}$$

et

$$k = 1, 2, 3...$$

Par suite :

$$i_m = \frac{1}{T}\int_0^T i\,dt$$

$$i_e^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt = i_m^2 + \frac{1}{2}\sum i_k^2.$$

Posons

$$\frac{1}{2}\sum i_k^2 = I_e^2$$

$I_e\sqrt{2}$ sera l'amplitude d'un courant sinusoïdal simple, de période T qui fournit la même quantité d'énergie que le courant alternatif réel. En général c'est le courant I_e qui est utile dans les applications ; le courant i_m n'est d'aucune utilité ; souvent même ses effets calorifiques et magnétiques sont nuisibles. Par des dispositifs appropriés, il est possible de séparer ces deux courants.

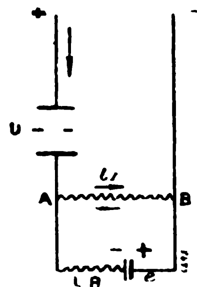


Fig. 1.

Premier dispositif (fig. 1). — Soit V l'interrupteur, par exemple un interrupteur liquide, AB le conducteur dans lequel on veut envoyer le courant alternatif : les flèches marquent le sens du courant i_m.

On peut annuler ce courant i_m en envoyant en AB, à l'aide d'une source extérieure un courant — i_m.

Comme en général la résistance de AB est assez faible, il suffira pour cela de quelques accumulateurs, alors même que la source alimentant l'interrupteur aurait une force électromotrice de 100 volts et plus. Pour que le courant alternatif ne se divise pas au point A, il faut insérer dans le circuit AeB une induction propre L très grande vis-à-vis de l, induction propre de la branche AB.

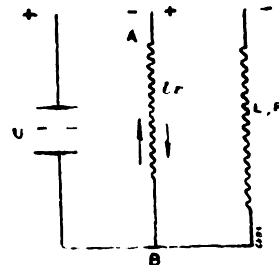


Fig. 2.

Deuxième dispositif. — Ce dispositif est commode quand le courant continu est fourni par une distribution à trois fils. Dans ce cas, on insère le conducteur AB sur le fil intermédiaire, dit fil neutre (fig. 2). L'un des autres fils contient l'interrupteur, le troisième une résistance R et une induction propre L aussi grande que possible. On règle R de façon qu'un ampèremètre à courant continu placé sur la branche AB reste au zéro.

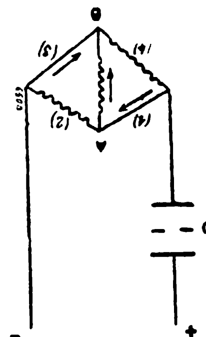


Fig. 3.

Souvent, quand on réduit le courant i_m à zéro, l'amplitude du courant alternatif devient plus grande : mais il est aussi des cas où elle devient plus petite. Cette diminution tient sans doute à ce que les conditions dans lesquelles fonctionne l'interrupteur ont changé : ce résultat est conforme à l'équation de Simon.

Digitized by Google

Troisième dispositif. — On emploie un réseau de Wheatstone dans lequel le conducteur AB joue le rôle de pont (fig. 3). On réalise la condition d'équilibre :

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

aucun courant continu ne passe en AB. D'autre part les inductions propres des branches 1 et 3 sont très grandes vis-à-vis de celles de AB : les deux autres branches du réseau sont à peu près dépourvues d'induction.

On a supposé qu'on employait un interrupteur à liquide : mais il est évident qu'un interrupteur quelconque peut servir. Le dispositif 2 peut servir même quand on a à sa disposition une seule batterie d'accumulateurs.

D'après une remarque faite déjà par M. Wehnelt, on arrive aussi à annuler i_m en mettant en dérivation une capacité aux bornes de l'interrupteur. L. M.

Mise en marche Helios pour moteurs asynchrones. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 152. 1er mai 1903.

Le procédé de la Helios Elektrizitäts Aktien-Gesellschaft, de Cologne-Ehrenfeld, diffère essentiellement de ceux employés jusqu'à ce jour. Il permet d'éviter l'emploi d'enroulement auxiliaire et d'appareils pour la production de la différence de phase convenable ; aucune résistance n'est insérée dans l'induit. L'induit peut être construit dans tous les cas comme un simple induit en court-circuit ; de sorte que le procédé Helios fournit un moyen commode de coupler à la main le moteur avec la charge à entraîner juste à l'instant où le synchronisme est atteint.

A cet effet, l'arbre de rotation est prolongé à ses deux extrémités et disposé de telle sorte que l'on puisse facilement déplacer l'induit dans la direction de son axe. Supposons l'induit dans sa position normale A (fig. 1) ; dès que le champ du stator est actionné, l'induit est poussé en dehors de ce champ et atteint la position B (fig. 2) ; cette force répulsive vient de ce que les lignes de force du champ du stator induisent dans le rotor en court-circuit un fort courant dont le champ est à chaque instant de même sens que le champ du stator. D'autre part, si l'induit était dans la position B, à la mise en circuit du champ du stator, il serait d'abord maintenu dans cette position. La répulsion due aux courants induits surpasse très sensiblement l'attraction due au magnétisme induit dans le noyau de fer du rotor.

Le rotor doit toujours se trouver dans la position B si le moteur est à l'arrêt. S'il était en effet dans la position A, il ne pourrait démarrer de lui-même, même si on lui communiquait une faible rotation, parce que la réaction d'induit par suite des courants intenses du rotor serait trop forte et le champ trop faible. Au contraire

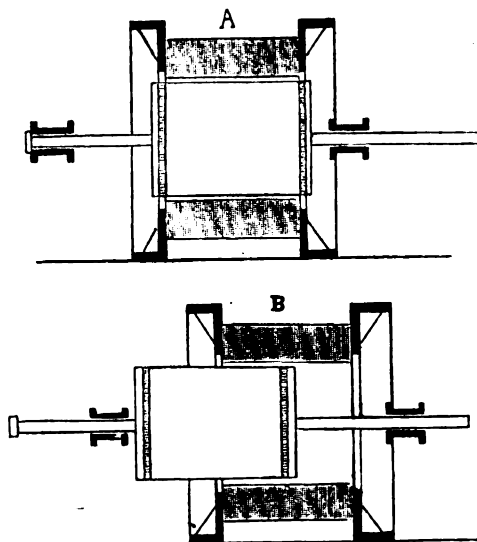


Fig. 1 et 2.

dans la position B, les courants de l'induit sont faibles et une partie seulement de l'enroulement du rotor participe à l'induction. La réaction d'induit est également très faible et il suffit d'une petite impulsion pour la mise en marche ; le moteur atteint ainsi rapidement sa vitesse normale. Quand le moteur tourne au voisinage du synchronisme, les courants induits dans le rotor sont par suite du faible glissement sensiblement nuls, l'attraction du stator devient prépondérante et le rotor est ramené dans la position normale A.

Lorsque le courant du stator est interrompu, l'induit est ramené par un moyen quelconque dans la position B.

Il peut être avantageux qu'au repos, l'induit soit dans la position A ; alors, à la mise en circuit du stator, l'induit est repoussé en B automatiquement par l'excitation du stator. La caractéristique du procédé Helios est de communiquer un faible mouvement au rotor déplacé de

Digitized by Google

sa position normale, ce qui suffit pour qu'il prenne sa vitesse.

Les expériences exécutées ont montré que la rentrée du rotor a lieu au moment même où il atteint sa vitesse normale. Comme c'est à ce moment que le moteur peut entraîner sa charge, on peut utiliser le phénomène pour produire le couplage automatiquement au moment précis.

G. G.

L'état actuel du labourage électrique, par **Emile Guarini**. Publication du journal *Le Génie Civil*; une brochure de 16 pages, en vente à la librairie industrielle Ramlot, 25, rue Grétry, Bruxelles ; prix 2 fr.

Au moment où beaucoup d'ingénieurs électriciens considèrent l'agriculture comme un des domaines qu'il faudra bientôt ouvrir aux applications de l'électricité lorsque le domaine de la traction aura été sinon complètement acquis, du moins profondément exploité, l'étude de M. E Guarini sur le labourage électrique vient à son heure [1].

Dans cette étude, M. Guarini rappelle d'abord sans cependant entrer dans des détails que ne comportait pas le titre choisi, les nombreuses tentatives [2] qui furent faites pour utiliser le moteur électrique au labourage dès que fut démontrée la possibilité de transmettre économiquement la force motrice à distance au moyen de l'électricité. Dans un des procédés essayés, on plaça le moteur électrique sur la charrue elle-même et ce moteur actionnait un treuil sur lequel s'enroulait un câble de traction fixé à une extrémité, la surcharge qui en résultait produisait un excès d'adhérence et donnait lieu à une force tractive très grande provoquant l'usure rapide du câble. On tenta aussi de faire traîner la charrue par une automobile électrique : ce système n'eut pas plus de succès que le précédent. Enfin on eut recours au système de traction directe dans lequel le moteur est fixe, et, par l'intermédiaire d'un câble ou d'une chaîne, fait mouvoir la charrue d'un bout à l'autre du champ à labourer.

I. Systèmes de labourage. — 1. *Système Hélios*. — Parmi les systèmes modernes, l'auteur signale d'abord le système de la Société « Hélios », de Cologne. Il comporte deux types, celui à un moteur et celui à deux moteurs.

Le premier est destiné au labourage en terrain plat et meuble. Il se compose d'un truck moteur comportant un moteur électrique et un treuil, et d'un truck à ancres placé à la limite opposée à celle où se trouve le truck moteur ; la charrue proprement dite fait la navette entre les deux, grâce à un câble passant sur une poulie à gorge fixée au chariot à ancres.

Le type à deux moteurs, destiné au labourage en terrain accidenté et compact, se différencie du précédent par le second truck moteur qui occupe la place des ancres. La charrue est traînée alternativement par l'un et par l'autre treuil.

2. *Système Union*. — La Société d'électricité « Union », de Berlin, exploite un système à deux moteurs. La charrue proprement dite et les trucks moteurs sont de la fabrication de la Société Eckert, la partie électrique est montée par la Société « Union ». Les deux trucks moteurs sont munis de treuils et de câbles pour une longueur de sillon pouvant atteindre 500 m. Chacune des voitures est munie d'un moteur fermé hermétiquement et pourvu d'appareils de démarrage. Suivant les besoins, les moteurs actionnent les treuils pour le déplacement de la charrue ou les roues de la voiture pour la propulsion.

3. *Système Borsig*. — La maison A. Borsig, de Berlin, construit une charrue électrique du système à un moteur. Le truck de commande est pourvu d'un moteur triphasé de 40 chevaux et des appareils nécessaires au déplacement et au fonctionnement. Le truck à ancres est pourvu d'un tambour, autour duquel s'enroule le câble de traction. Les quatre ancres sont suspendues à une petite grue. Quand la charrue se dirige vers le moteur, le brin mou du câble de traction actionne un engrenage qui relève les ancres et fait avancer le truck résistant jusqu'au sillon suivant.

4. *Système Siemens et Halske*. — C'est également le système à deux moteurs qui est préféré par la Société Siemens et Halske. Le moteur

(1) Rappelons aussi l'étude du même auteur sur « L'état actuel de l'électroculture reproduite dans un précédent numéro de ce journal, t. XXXVII, p. 101, 17 octobre 1903.

(2) La plupart de ces tentatives ont été signalées dans *La Lumière Électrique* et dans *L'Éclairage Électrique*. Voir notamment ce dernier journal : t. I, p. 670 ; t. II, 575 ; t. V, p. 367, 374 et 537 ; t. IX, 576 ; t. XI, p. 382 ; t. XII, p. 271 ; t. XVIII, p. IX.

Digitized by Google

peut actionner le treuil du câble tracteur ou les roues du truck. Trois hommes suffisent à la manœuvre : un sur la charrue proprement dite et un sur chaque truck moteur. Chacun de ces conducteurs peut, sans que la charnue soit arrêtée, actionner le treuil ou la charrue.

On reproche à cette charrue son poids assez considérable.

5. *Système Schuckert.* — La Société Schückert, de Nuremberg, est de celles qui se sont le plus occupées de la question du labourage électrique. Dès 1895, elle fit des essais avec le système Dolberg à deux moteurs. Le treuil était actionné par l'intermédiaire d'une courroie. Le tout reposait sur deux petits wagonnets circulant sur une voie ferrée déplaçable. Un dispositif spécial permettait de déplacer toute la machine en avant et en arrière au moyen du moteur et du treuil. Les essais furent faits avec du courant triphasé provenant d'une station centrale distante de plusieurs kilomètres.

La maison Schückert chercha à perfectionner ce système et, en 1897, adopta le système Brutschke, sur lequel l'auteur donne quelques détails [1].

Comme dans la plupart des autres systèmes passés en revue, la charrue proprement dite est à bascule et à plusieurs socs. La traction se fait par câble. Le système peut employer un ou deux moteurs. Le châssis du truck à ancres est en fer et porté par quatre roues larges et fortes. Il porte une glissière parallèle aux essieux ; dans celle-ci glisse un cadre portant en dessous la poulie qui sert à guider le câble. Celle-ci peut, par conséquent, être déplacée dans le sens de la traction du câble. Du cadre part une chaine courte et solide, rattachée à l'ancre qui est à griffes multiples et suspendue à un palan fixé sur le train.

Le câble qui traine la charrue est tiré par un des tambours du treuil, passe sur la poulie du truck à ancres et revient au second tambour. Le truck résistant sert de point d'appui lorsque la charrue se dirige vers lui. Le déplacement du cadre de la glissière vers le moteur, déplacement produit par la traction du câble, se reporte par la chaine à l'ancre et contribue à enfoncer celle-ci dans la terre.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. V. p. 367, 23 novembre 1895 ; t. XXXIII, p. CXLII, 29 novembre 1902.

Lorsque la charrue se dirige. au contraire, vers le moteur, le truck résistant est déchargé. La rotation de la poulie, déterminée par le passage du câble, est alors utilisée pour retirer l'ancre de la terre, ce qui fait glisser le cadre en arrière, et pour faire avancer le truck résistant vers le sillon suivant. Ce dernier mouvement s'obtient par l'enroulement d'un câble léger ancré à son extrémité. Ces deux mouvements sont complètement automatiques, grâce au déplacement de deux leviers.

Le truck moteur porte l'électromoteur et deux tambours.

Le moteur triphasé est alimenté par un câble de 500 à 1 000 m, ordinairement porté par deux supports situés à l'extrémité postérieure du véhicule. Le mouvement rotatif et l'électromoteur se transmet par un arbre intermédiaire, sur lequel sont montés différents embrayages correspondant à l'un ou à l'autre tambour, ou à un engrenage destiné au déplacement du truck moteur. Ce dernier porte, outre une caisse à outils, un interrupteur et un commutateur pour changer le sens de la rotation ou couper le courant ; enfin, une résistance régulatrice pour modérer la vitesse du moteur et, par suite, celle de la charrue.

La charrue proprement dite est analogue aux charrues à bascule employées pour le labourage à vapeur. Pendant qu'elle exécute son mouvement de bascule, le truck moteur se déplace pour le sillon suivant.

Lorsque l'on emploie deux trucks moteurs, la partie mécanique est simplifiée par suite de la suppression du second tambour.

Avec le système à un seul truck moteur, la longueur du sillon est limitée à 300 ou 350 m, tandis qu'elle comporte 400 à 500 m avec le système à deux machines.

Lorsqu'on travaille un terrain en dos d'âne, le système à une seule machine nécessite la présence d'un homme sur la hauteur pour suivre des yeux la marche de la charrue et faire les signaux voulus. En temps de brouillard, il faut pour éviter que la charrue ne heute le truck à ancres, labourer à demi-vitesse lorsqu'on approche de ce point.

Le travail fourni par le système à une machine est naturellement un peu inférieur à celui fourni par le système à deux machines. D'autre part, ce système peut souvent travailler là où le ter-

Digitized by Google

rain n'est pas assez résistant pour supporter le poids du système à deux moteurs.

Pour la mise en place, le système à une machine est naturellement peu commode par suite du temps nécessaire au placement du câble tracteur, mais il a l'avantage de nécessiter l'établissement de conducteurs électriques que pour un seul moteur; le tambour de câble nécessaire dans le système à deux moteurs peut par suite être supprimé.

En somme, le système à un seul moteur mérite la préférence pour les exploitations moyennes en terrain uni, grâce à ses moindres frais d'acquisition et à son service plus facile; le système à deux moteurs se recommande pour les grandes exploitations en terrain accidenté.

6. *Systèmes divers*. — M. Guarini ne fait que signaler la charrue électrique de Fœrster, celle du colonel Bussière qui fonctionna jadis en Algérie, et celle de Ben-Sala pour le labourage des vignobles. Ces appareils ont généralement été abandonnés à cause de leur manque de stabilité, de leur poids et d'autres défauts incompatibles avec la pratique.

II. Installations. — 1. — Le système de la Société « Hélios » est employé dans diverses exploitations, notamment dans la ferme de « Quednau » (Allemagne), où il permet de réaliser une grande économie de chevaux. Cette charrue travaille avec deux moteurs; lorsque la terre est dure et que la couche à labourer atteint 36 cm d'épaisseur, la force motrice nécessaire est de 60 chevaux effectifs au maximum.

La superficie de cette exploitation est de 181 hectares. L'électricité y est employée à une foule d'autres usages. La station centrale est pourvue de machines à vapeur actionnant des dynamos à courant continu.

Pour le labourage, la tension du courant est de 550 volts. Le courant est amené au moteur par des conducteurs nus portés sur des mâts avec isolateurs.

2. — De tous les systèmes, celui de Brutscke semble être le plus répandu. Laissons de côté les essais dont il a été l'objet l'auteur indique les installations où il est employé.

On peut citer d'abord celle du domaine de Marschwitz, près de Breslau. Le courant est produit par la force hydraulique et éventuellement par la vapeur.

Deux turbines installées au moulin de Marschwitz peuvent produire ensemble une force de 100 chevaux. Mais leur rendement est parfois modifié par le changement de niveau de l'eau. Une locomobile compound Wolf de 60 chevaux supplée en ce cas à leur insuffisance. Les génératrices comportent deux alternateurs triphasés actionnés au moyen de courroies, soit par les turbines, soit par la machine à vapeur. Elles fournissent 24,5 ampères sous 1 500 volts.

L'énergie électrique obtenue est employée aux usages les plus divers dans la métairie. Un circuit spécial part de la station primaire, fait une boucle dans les champs et revient à la station centrale après avoir alimenté un moteur de 15 chevaux pour une machine à battre le blé, et un moteur de charrue électrique d'une force de 50 chevaux. Le circuit en boucle a été adopté parce que les champs se trouvaient en cercle autour d'une autre propriété. D'ordinaire, les conducteurs rayonnent de la station centrale. Le moteur de la charrue est directement alimenté de courant à haute tension sans transformation préalable.

3. — Une installation analogue à la précédente existe dans les propriétés du comte Lagos Batthyany, à Ikervar, en Hongrie.

L'alternateur triphasé est actionné par un moteur à courant continu à haute tension. Ce courant à haute tension est à son tour produit à grande distance au moyen de forces hydrauliques et utilisé dans les localités de Steinamanger, Sarvar et Ikervar.

Contrairement à ce qui se fait à Marschwitz où la tension est réglée à la main, ce réglage se fait ici automatiquement. Le service du machiniste est allégé d'autant.

L'installation de labourage est au surplus entièrement semblable à celle décrite précédemment.

4. L'installation du domaine de Catlenbourg est intéressante parce qu'on y a mis à profit la force laissée disponible par un moulin existant depuis longtemps. Pour utiliser cette force, on installa une turbine de 70 chevaux et on établit une station centrale qui fournit la force motrice et l'éclairage à toute l'installation. Comme les distances à franchir étaient considérables, on a choisi le courant triphasé à 1 000 volts. Dans les bâtiments, cette tension est réduite pour l'usage, mais elle est employée directement pour le labourage. La charrue à deux moteurs a été four-

Digitized by Google

nie par la Société Schückert. Le courant est amené à la charrue par un câble transportable de 400 m de longueur enroulé sur un tambour. Il existe ainsi quatre trucks avec câble ; l'un sert à relier les trucks moteurs, deux autres raccordent ceux-ci aux conducteurs fixes. On peut, par suite, labourer à 800 m de ces derniers. Tous les leviers sont disposés près du conducteur de chaque treuil. Les trucks moteurs sont pourvus, pour les signaux, d'un cornet pneumatique.

Comme la force hydraulique se perdait pendant la nuit, on essaya de labourer aussi la nuit. La chose fut plus aisée qu'avec la machine à vapeur, par suite de la plus grande simplicité du travail des machinistes. Ces derniers n'ont pas, en effet, à entretenir le feu, à surveiller le niveau de l'eau et, surtout, ils ne sont pas aveuglés par le feu de la chaudière ; ils sont donc mieux en état de conduire et de surveiller leur machine.

5. L'installation du domaine seigneurial de Taïkowitz [1], en Autriche, est destinée à fournir le courant aux appareils d'éclairage, à diverses machines et à une charrue électrique. On utilise à la production du courant électrique, la force hydraulique de la Jemeritza. Toutefois cette rivière, qui est une décharge des marais voisins de la propriété, n'a que très peu d'eau l'été, par suite du desséchement des marais. Ce débit est insuffisant pour la production de l'énergie électrique nécessaire. De plus, en amont, se trouvent plusieurs moulins qui retiennent l'eau chaque fois qu'il en est besoin.

Afin de disposer de l'eau nécessaire, on créa des réservoirs placés en amont de la station centrale. Ces réservoirs se remplissent soit au moment des crues, soit la nuit, et fournissent l'eau nécessaire pour faire fonctionner la station centrale pendant 12 heures chaque jour. L'eau est d'abord arrêtée par un barrage établi à 1 km en amont de l'usine génératrice. Il peut retenir environ 5 000 m³ d'eau. Un canal conduit ensuite l'eau à un autre réservoir de 5 000 m³ de capacité, placé directement au-dessus de la station centrale. Cette dernière comporte une turbine et deux groupes électriques recevant leur mouvement de la turbine par l'intermédiaire de courroies. La puissance est de 40 chevaux, à 275 tours, pour une chute de 8 m et un débit de 500 litres par seconde.

Le plus grand des deux groupes électrogènes consiste en un alternateur à courant triphasé, d'une puissance de 85 kilowatts sous 2 100 volts, et en une dynamo à courant continu de 32 kilowatts sous 110 volts.

Le petit groupe comporte un alternateur triphasé de 7,5 kilowatts sous 2 100 volts et une dynamo à courant continu de 10 kilowatts sous 110 volts.

Une batterie d'accumulateurs Polak de 60 éléments, 987 ampères-heure, au régime de décharge de sept heures, est adjointe à la station centrale.

De la station centrale partent deux circuits, un pour la métairie, l'autre pour les champs. Ce dernier, qui sert au labourage, a 2,5 km de longueur.

Quoique le terrain, par lui-même favorable, soit très accidenté, on a pu le diviser en sections qui se prêtent fort bien au labourage électrique. Le truck moteur et le truck résistant restent toujours en vue l'un de l'autre.

Le peu de force dont on disposait a fait préférer le système à un seul moteur. On a employé une charrue basculante à trois socs.

Les connexions sont établies de telle sorte que la dynamo à courant continu charge les accumulateurs lorsque l'alternateur triphasé ne marche pas à pleine charge ; par contre, elle fonctionne comme moteur et reçoit son courant de la batterie lorsque la charge de l'alternateur surpasse la force de la turbine.

L'excitation des deux dynamos se fait par la batterie. Cette disposition permet à la turbine de toujours donner son rendement maximum.

Les variations maxima de tension sont de 200 volts, mais n'exercent pas d'iufluence sur le moteur de la charrue. L'arbre de la turbine est pourvu d'un volant destiné à équilibrer les à-coups qui se produisent, par exemple, lorsque la charrue rencontre de grosses pierres. Dans ce cas, l'ampèremètre indique une augmentation de 12, 20 et même 30 ampères, alors que l'ampèremètre de la batterie n'indique que de faibles fluctuations. Tout travail qui surpasse la puissance de la turbine est donc momentanément équilibré par le volant. On évite ainsi de dépasser l'intensité de décharge de la batterie.

Si l'éclairage doit être utilisé durant le fonc-

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. CXLII. Lire dans cet article 300 lampes à incandescence au lieu de 3 000.

Digitized by Google

tionnement de la charrue, on met le petit groupe en activité. Il ne serait pas pratique de raccorder ce circuit au grand groupe, parce que les variations de tension, qui se produisent pendant la marche de la charrue, se répercuteraient désagréablement sur l'éclairage. Toutefois, comme les fluctuations de charges se répercutent aussi sur l'axe de la turbine, le petit groupe ne doit pas être couplé avec cette dernière. Il vaut mieux le faire fonctionner comme transformateur. De cette façon, la lumière est fixe. Lorsque la charrue cesse de travailler, le petit groupe est actionné par la turbine et la batterie est mise hors circuit.

Au printemps, la Jemeritza a toujours suffisamment d'eau pour le service complet du labourage. En été et en automne, pendant les années sèches, la rivière ne fournit pas les 500 litres à l'heure nécessaires à la turbine. Dans ce cas, le supplément est prélevé sur la réserve. Un essai fait lors de la mise en marche de la charrue a démontré que le réservoir inférieur suffisait à un labourage d'environ trois heures. L'eau accumulée par un barrage suffirait pour un même laps de temps. La rivière, d'autre part, fournit toujours un minimum de 300 litres par seconde. L'afflux est donc d'environ 13 000 m^3 en douze heures, quantité qui suffit amplement pour labourer pendant le reste de la journée. Le jour suivant est employé pour charger la batterie et remplir les réservoirs. On peut donc, pendant les étés secs, labourer un jour sur deux. Pendant les étés humides, on peut labourer tous les jours.

Prix de revient [1]. — Voici maintenant quelques indications sur les résultats obtenus avec les divers systèmes de labourage électrique.

Dans le domaine du comte Vittorio Assarto, à Praforeano, on labourait 3 hectares en dix heures avec une charrue à trois socs. La profondeur des sillons était de 22 cm, la largeur de 90 cm.

Avec la charrue Zimmermann, on laboura, à Halle-sur-Saale, 4 à 5 hectares en dix heures, la profondeur des sillons étant de 35 cm. Les frais furent de 6,80 fr par jour. Ils auraient été de 15 francs avec des bœufs.

A Diedrischsagen, près de Rostock, on laboura, avec le système Dolbert, 4,35 hectares en dix heures. Les frais furent de 41,25 fr par jour, ou, en comprenant l'amortissement du capital engagé, de 68,75 fr par jour. L'économie fut estimée à 50 p. 100. Les sillons avaient 30 cm de profondeur ; la largeur était de 1,80 m. La charrue était à quatre socs et fonctionnait avec deux moteurs de 28 chevaux. Les champs étaient distants de la station centrale de 3500 m, et la tension primaire du courant s'élevait à

(1) Le prix de revient du labourage électrique a été indiqué à plusieurs reprises dans ce journal, et la plupart des chiffres rassemblés par M. Guarini y ont été publiés antérieurement.

Cette question du prix de revient a d'ailleurs été traitée très complètement dans une conférence sur l'Electrotechnie agricole en Allemagne, faite en 1898 à la Société d'encouragement et publiée dans le *Bulletin* de cette société de janvier 1899. Les tableaux I à III, extraits de cette communication donnent tous les éléments du calcul du prix de revient. Le tableau I donne le temps nécessaire pour le labour de 150 hectares à une profondeur de 30 et de 25 cm; le tableau II, les frais annuels pour amortissement et intérêt du capital et réparation du matériel; le tableau III, le prix de revient pour 300 hectares et par hectare avec divers systèmes de labourage et divers modes de production de l'énergie.

Tableau I

Système	Rendement p. 100.	Puissance aux socs.		Surface labourée en 1 heure sans arrêt au maximum.		Arrêt p. 100	Surface labourée effectivement en 1 heure.		150 hectares sont labourés en	
				30 cm.	25 cm.		30 cm.	25 cm.	30 cm.	25 cm.
		Poncelets.	Chevaux	hect.	hect.		hect.	hect.	heures	heures.
Siemens	66	12,37	16,5	0,37	0,47	20	0,295	0,375	500	400
Dollberg	66	12,37	16,5	0,37	0,47	30	0,260	0,330	572	455
Brutscke	60	11,25	15	0,34	0,43	20	0,270	0,345	550	435
Zimmermann	60	11,25	15	0,34	0,43	30	0,240	0,300	630	500

Note. — Dans ce tableau, le moteur du treuil fournit 18,75 poncelets pour les 4 cas.

Digitized by Google

TABLEAU II

Évaluation des frais pour les différents systèmes de labourage (Moteurs 18,75 poncelets).

NOMBRE de pièces.	DÉTAIL DES OBJETS	PRIX des pièces en francs.	PRIX d'ensemble en francs	POUR CENT pour intérêt	pour amortissement.	pour réparations	TOTAL	TOTAL par an
	Système à 2 treuils Siemens.							
2	Treuils avec moteurs de 18 Pts,75 (25 chevaux) et accessoires	14 375 »	28 750	4	6	5	15	fr. 4 312,50
3	Tambours à câbles pour les treuils	2 000 »	6 000	4	8	10	22	1 320 »
1	Transformateur transportable	»	3 250	4	6	3	13	422,50
	Appareils de champs : une charrue à bascule et une défonceuse	»	7 500	4	8	5	17	1 275 »
	800 m de câble d'acier	»	2 000	4	46	»	50	1 000 »
	TOTAL		47 500					8 330 »
	Système à 2 treuils Dollberg.							
2	Chariots portant le châssis et le treuil	5 937,50	11 875	4	6	5	15	1 781,25
2	Moteurs électriques de 18 Pts,75 (25 chevaux) avec accessoires	4 000 »	8 000	4	6	5	15	1 200 »
3	Tambours à câbles	2 000 »	6 000	4	8	10	22	1 320 »
1	Transformateur transportable	»	3 250	4	6	3	13	422,50
	Appareils de champs : une charrue à bascule et une défonceuse	»	7 500	4	8	5	17	1 275 »
	800 m de câbles d'acier	»	2 000	4	46	»	50	1 000 »
	Voie ferrée nécessaire	»	1 375	4	8	10	22	302,50
	TOTAL		40 000					7 301,25
	Système à 1 treuil Brutschke.							
1	Voiture à treuil avec moteur de 18 Pts,75, et accessoires	»	14 375	4	8	6	18	2 712,50
2	Tambours à câbles	2 000 »	4 000	4	8	10	22	855 »
1	Transformateur transportable	»	3 250	4	6	5	15	422,50
1	Chariot ancre	»	5 125	4	6	5	15	768,75
	Appareils de champs : une charrue à bascule et une défonceuse	»	7 500	4	8	5	17	1 275 »
	800 m de câbles d'acier	»	2 000	4	46	»	50	1 000 »
	Total		36 250					7 033,75
	Système de charrue à chaîne Zimmermann (¹).							
1	Charrue à bascule avec moteur de 18 Pts,75 et accessoires	»	10 000	4	8	7	19	1 900 »
1	Défonceuse avec moteur de 18 Pts,75 et accessoires	»	10 000	4	8	7	19	1 900 »
2	Ancres pour la chaîne	»	375	4	10	5	19	71,25
	300 m de chaîne	»	1 000	4	30	»	34	340 »
6	Wagons pour supporter le câble	»	600	4	20	15	39	234 »
2	Tambours à câble	2 000 »	4 000	4	20	15	39	1 560 »
1	Transformateur transportable	»	3 250	4	6	3	13	422,50
	TOTAL		29 225					6 427,75

(¹) Ce calcul est fait avec les premiers appareils Zimmermann ; avec l'appareil actuel, le total serait sensiblement le même, mais les sommes seraient réparties peut-être autrement. Cela est donc d'une importance secondaire.

Dans l'appareil actuel, on est obligé d'employer le courant continu sans transformateur pour n'avoir que 2 frotteurs au lieu de 3 nécessaires avec le courant triphasé.

Le prix du transformateur serait alors remplacé par d'autres frais occasionnés par ce nouveau système.

Digitized by Google

2 200 volts ; la tension secondaire était de 220 volts.

La charrue à un moteur, construite par la maison Borsig, de Berlin, peut labourer à 35 cm de profondeur.

A Taïkowitz, la vitesse usuelle est de 1,6 m par seconde, la profondeur des sillons 25 à 30 cm, la surface labourée par jour 3,50 hectares ; pour le labourage superficiel avec charrue à cinq socs, elle est de 5,70 hectares. Ces résultats ont été favorisés par la marche uniforme de la charrue et par la faible résistance du terrain. Les calculs ont donné, à Taïkowitz, une traction de câble de 900 kg, ce qui correspond à 360 gr. par cm², la profondeur du sillon étant de 25 cm, la largeur totale 1 m.

Au domaine royal du Silium, la traction du câble est de 1 200 kg avec une largeur de 60 cm et une profondeur de sillon de 20 cm, soit 1 kg par cm carré. Il en résulte qu'il faut, au Silium, une force hydraulique de 60 à 70 chevaux. A Taïkowitz, la vitesse pour le labourage à 30 ou 35 cm de profondeur est de 1,20 m à 1,60 m ; pour le labourage superficiel elle est de 1,60 m à 2 m. Cette vitesse est une moyenne pratique qui peut cependant, comme pour tous les autres systèmes, être sensiblement accrue et même être doublée lorsque le personnel est très exercé.

A l'économie que l'on réalise par le labourage électrique, il faut aussi ajouter la surproduction due au défonçage plus profond du ter-

Tableau III

Dispositions	Prix du poncelet-heure.	Frais pour 300 hectares			Prix de l'hectare entre 25 et 30 c.
		énergie.	charrue.	total.	
On compte sur 1 800 heures de travail par an pour l'usine génératrice (¹).					
Siemens (900 heures).					
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
Moteur à vapeur de 30 poncelets	0,3033	5 937,50	+ 9 750	= 15 687,50	52
Moteur à vapeur préexistant de 30 poncelets	0,1966	3 850	+ 9 750	= 13 600	45,50
Turbine hydraulique de 30 poncelets	0,1916	3 750	+ 9 750	= 13 500	45
Moteur à vapeur de 300 poncelets	0,1466	2 875	+ 9 750	= 12 625	42
Turbine hydraulique de 300 poncelets	0,0900	1 762,50	+ 9 750	= 11 512,50	38,50
Dolberg (1 027 heures).					
Moteur à vapeur de 30 poncelets	0,3033	6 775	+ 9 125	= 15 900	53
Moteur à vapeur préexistant de 30 poncelets	0,1966	4 400	+ 9 125	= 13 525	45
Turbine hydraulique de 30 poncelets	0,1916	4 300	+ 9 125	= 13 425	44,75
Moteur à vapeur de 300 poncelets	0,1466	3 275	+ 9 125	= 12 400	41,50
Turbine hydraulique de 300 poncelets	0,0900	2 012,50	+ 9 125	= 11 137,50	37
Brutschke (985 heures).					
Moteur à vapeur de 30 poncelets	0,3033	6 500	+ 8 375	= 14 875	49,50
Moteur à vapeur préexistant de 30 poncelets	0,1966	4 375	+ 8 375	= 12 750	42,50
Turbine hydraulique de 30 poncelets	0,1916	4 087,50	+ 8 375	= 12 462,50	41,50
Moteur à vapeur de 300 poncelets	0,1466	3 125	+ 8 375	= 11 500	38,50
Turbine hydraulique de 300 poncelets	0,0900	1 925	+ 8 375	= 10 300	34,50
Zimmermann (1 130 heures).					
Moteur à vapeur de 30 poncelets	0,3033	7 562,50	+ 8 337,50	= 15 900	53
Moteur à vapeur préexistant de 30 poncelets	0,1966	4 825	+ 8 337,50	= 13 162,50	43,87
Turbine hydraulique de 30 poncelets	0,1916	4 725	+ 8 337,50	= 13 062,50	43,54
Moteur à vapeur de 300 poncelets	0,1466	3 600	+ 8 337,50	= 11 937,50	39,79
Turbine hydraulique de 300 poncelets	0,0900	2 087,50	+ 8 337,50	= 10 425	34,75

(¹) C'est un minimum, cela correspond donc au maximum pratique du prix du poncelet-heure.

Digitized by Google

rain. D'après M. P. Renaud, on peut évaluer cette surproduction à 20 p. 100 pour le blé, 35 p. 100 pour l'orge, 26 p. 100 pour les betteraves.

Si l'accord est unanime pour reconnaître les avantages économiques que le labourage électrique présente sur le labourage à traction animale ou sur le labourage à vapeur, il s'en faut pourtant de beaucoup que les spécialistes soient d'accord sur le prix de revient exact du labourage électrique. M. Brutschke est d'avis que l'on peut travailler 4 hectares de champs en dix heures, avec une profondeur de sillon de 35 cm et une dépense d'énergie de 90 kilowatts-heure. En comptant le kilowatt à 29 centimes, M. Brutschkte arrive à démontrer que le prix de revient du labourage électrique, tous les autres frais compris, est de 25,89 fr l'hectare.

M. Ringelmann n'admet pas ce chiffre. Le prix du kilowatt, d'après lui, doit être estimé à 36 centimes et non à 29.

Par le fait même, le prix de revient s'élève à 38,62 fr l'hectare. Il faudrait, à son avis, pour que la dépense fût voisine du chiffre de M. Brutschke (25,89 fr.), soit 25,75 fr. par hectare, que l'on parvint à labourer 6 hectares au lieu de 4 en une journée de dix heures.

Il n'est d'ailleurs guère possible de préciser, car le rendement du labourage dépend de la profondeur de sillon, du nombre de socs de la charrue, de la vitesse de la nature du sol, de sa resistance, etc.

IV. Conclusions. — Les installations de labourage électrique nécessitent un capital assez élevé ; le système à deux moteurs coûte, en effet, à lui seul, de 44 000 à 63 000 fr. Une telle immobilisation de capital ne se justifie donc que si les conditions et la disposition du terrain sont très favorables. Ce sera par exemple le cas lorsque la surface à labourer se composera d'une terre lourde et fertile, susceptible d'un grand rapport. L'exploitation se soldera par une diminution des frais de production et, parfois, par une augmentation de la production. Les frais d'exploitation seront d'autant moins élevés que l'énergie électrique sera produite à des conditions plus favorables. Les stations centrales hydro-électriques se recommandent sous ce rapport. Une station centrale à vapeur nécessite plutôt l'association d'un nombre assez considérable de fermes. Dans certains cas, l'énergie électrique peut être empruntée économiquement à un réseau du voisinage ; on évite ainsi les frais d'installation et d'entretien d'une station centrale.

« De toutes façons, l'économie réalisée par le labourage électrique semble devoir être considérable pour les grands domaines, et les avantages qui s'y attachent sont tels que ce mode de travail ne peut manquer de prendre une extension considérable. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 4 novembre 1903 (¹).

Sur l'accumulateur Edison, par **M. P. Janet**.

Description. — M. Janet donne la description de l'accumulateur Edison et indique les résultats obtenus au Laboratoire central d'électricité sur un élément de 8 kg et deux éléments beaucoup plus petits.

Nous n'insisterons pas ici sur la description des électrodes que nous avons antérieurement faite en détail dans cette Revue (¹).

Rappelons cependant que la matière négative est obtenue en réduisant le sesquioxyde de fer Fe^2O^3 par l'hydrogène. Le mélange de fer, protoxyde de fer et oxyde magnétique est mélangé à du graphite (2 parties de graphite pour 8 parties de fer). Après cylindrage, la matière humectée d'eau ou de potasse est comprimée en briquettes, à la pression de 300 kg par centimètre carré. Dans un perfectionnement récent,

(¹) La communication analysée ci-dessous a été suivie d'une communication de M. G. Finzi, sur la *Traction électrique par moteur série à courant alternatif;* nous donnerons le compte rendu de cette dernière dans un prochain numéro.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 124, 27 juillet 1901, et t. XXIX, p. 93, 19 octobre 1901.

Digitized by Google

on remplace le graphite par un amalgame de mercure ; le mélange renferme alors 64 parties de fer, 30 parties de cuivre et 6 parties de mercure. Le rôle de ces substances est d'augmenter la conductibilité du fer.

La matière active positive est obtenue en précipitant le nitrate de nickel par la magnésie ; l'oxyde de nickel hydraté ainsi précipité est transformé en sesquioxyde par un courant de chlore.

Ce sesquioxyde de nickel est mélangé à du graphite (6 parties de sesquioxyde de nickel et 4 parties de graphite), puis moulé en briquettes comme la négative.

Les briquettes sont introduites dans des cuvettes en acier nickelé très mince, perforées de trous très fins et ondulées. Les cuvettes sont portées ensuite dans les alvéoles de la grille en acier nickelé de 0,625 mm d'épaisseur qui pour les dimensions 240 × 120 mm des plaques essayées au Laboratoire central d'électricité pèse 19 gr. Après introduction des cuvettes, on comprime à 90 000 kg par pochette (il y en a 24 dans la plaque 240 × 120 mm). Les détails de cette fabrication ont été donnés également ici (1).

Les plaques terminées ont 2 mm d'épaisseur.

Pour le montage de l'élément, on adopte la disposition en tous points identique à celle déjà décrite (2).

Le bac est en tôle d'acier nickelé, ondulée ; les plaques ne sont écartées, à l'aide de baguettes en ébonite, que de 2 mm. Le couvercle disposé d'une façon toute spéciale rend le bac hermétique ; seuls les gaz peuvent s'échapper. Il importe d'obtenir cette étanchéité qui offre l'avantage d'éviter la carbonatation du liquide qui se ferait s'il y avait des rentrées d'air. Les plaques de même polarité sont réunies entre elles par serrage sur une tige. Toutes les soudures sont faites avec un mélange de 75 de cadmium et 25 d'étain. L'électrolyte est une solution de potasse à 20 p. 100.

A la fin de la charge, les matières actives se transforment en fer réduit à la négative et en oxyde supérieur de nickel, NiO^2 d'après Edison.

A la décharge, dont les réactions ne sont pas encore nettement déterminées, il y a oxydation du fer et réduction du peroxyde de nickel.

Expériences. — Les expériences du Laboratoire central d'électricité, effectuées par M. Laporte, ont porté sur un élément pour automobile et deux éléments de très petites dimensions.

L'élément d'automobile comprend 14 plaques positives et 14 plaques négatives. Chaque plaque renferme 8 rangées verticales de 3 pochettes chacune, ce qui porte à 672 le nombre total des pochettes (positives et négatives) de matière active.

Le poids total de l'élément est de 8 kg se décomposant comme suit :

Electrodes et vase	6 kg
Electrolyte	1,8 »
Séparateurs, Connexions, etc.	0,2 »
TOTAL.	8,0 »

Sur les 6 kg d'électrodes et vase, on compte 2 kg de matière active et 4 kg d'acier nickelé.

Au régime normal de 25 ampères, soit 3,1 ampères par kilogramme de poids total, la tension de décharge débute à 1,7 volt ; elle tombe à 1,58 volt en deux à trois minutes, à 1,42 volt en cinq minutes, puis elle descend lentement jusqu'à 1,2 volt après 6,25 heures. A ce moment se produit le crochet et la différence de potentiel baisse à 0,75 volt en cinq minutes. Il se produit alors un deuxième palier dont la durée est sensiblement égale au dixième de la durée de la décharge normale. Enfin un deuxième crochet se forme et la tension tombe à 0 volt. Ce deuxième palier doit correspondre à une deuxième réduction du peroxyde de nickel.

Pour la partie utilisable de la décharge, on peut compter sur une différence de potentiel moyenne de 1,25 volt au régime de 25 ampères.

Si on laisse l'élément à circuit ouvert, après une décharge jusque 0,75 volt ayant donné 160 ampères-heure à 25 ampères, la force électromotrice atteint rapidement 1,15 volt et remonte lentement ensuite jusque 1,3 volt.

En effectuant ensuite la charge à 60 ampères, la différence de potentiel débute à 1,65 volt, croît jusque 1,70 volt en quelques minutes et reste constante à cette valeur jusqu'au moment

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXVI, p. 100, 18 juillet 1903.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 316, 23 mai 1903.

Digitized by Google

où, l'élément ayant reçu 200 ampères-heure, il se produit une surélévation de la différence de potentiel qui atteint et dépasse 1,80 volt.

La résistance intérieure de l'élément varie de 0,0025 à 0,0035 ohm selon l'état de charge.

Les essais de capacité et d'énergie aux différents régimes ont été effectués en chargeant dans tous les cas 300 ampères-heure au régime de 30 ampères à en déchargeant aux différents régimes.

Entre 3,15 ampères et 25 ampères par kilogramme de poids total, la capacité massique a varié de 21,4 à 19,65 ampères-heure par kilogramme de poids total, et l'énergie massique correspondante, entre 27,35 et 20 watts-heure par kilogramme de poids total.

On peut conclure de ces chiffres que l'accumulateur Edison essayé possède une énergie massique inférieure à celle des accumulateurs légers au plomb pour les régimes ordinaires et supérieure pour les régimes excessivement élevés.

Il est à remarquer qu'au régime élevé de 26 ampères par kilogramme d'élément (soit ici 200 ampères) l'élément chauffe et sa température atteint 55° C.

Afin de rechercher si les fortes décharges ne font pas souffrir les éléments, on a déchargé les petits éléments à un régime correspondant à 200 ampères pour le gros. Ces petits éléments renfermant 4 plaques à une pochette répresentent donc $\frac{1}{168}$ de l'élément de 8 kg. Les éléments ont été abandonnés après décharge à 1,2 ampère jusque 0,3 volt. La décharge normale à 0,15 ampère (correspondant à 25 ampères pour le gros élément) a donné la capacité normale.

L'intensité de charge influe sur la capacité de l'élément Edison. L'expérience a été faite sur le gros élément auquel on donnait uniformément 220 ampères-heure, mais aux régimes variables de charge 20, 60, 100 et 200 ampères. Les décharges effectuées uniformément à 60 ampères ont donné des énergies baissant de 189 à 145 watts-heure. On peut donc dire que la charge en une heure donne lieu à une baisse de 23 p. 100 en énergie sur la charge en sept heures.

Les rendements obtenus sont faibles. Ainsi au régime de 60 ampères pour la charge et la décharge, en chargeant 253 ampères-heure, on obtient 156 ampères-heure, ce qui correspond à un rendement de 0,61 en quantité et de 0,43 en énergie. Ce rendement monte un peu lorsqu'on ne fait que des charges partielles. En chargeant 177 ampères-heure seulement, par exemple, les rendements atteignent respectivement 0,79 en quantité et 0,55 en énergie. Ces valeurs sont évidemment plus faibles que celles données par l'accumulateur au plomb.

Les essais de conservation de charge ont montré que l'élément qui donne 160 ampères-heure et 205 watts-heure lorsqu'on opère la décharge immédiatement après la charge, ne fournit plus que 141 ampères-heure et 166 watts-heure quand on laisse un intervalle de huit jours entre la fin de la charge et le commencement de la décharge. Il y a donc une perte de 12 p. 100 en quantité et de 19 p. 100 en énergie pendant huit jours.

L'influence de la température a été déterminée sur les deux petits éléments. L'un était maintenu à la température 0° C. et l'autre à 50° C. Dans ces conditions, la courbe de décharge du premier élément se maintenait au-dessous de celle du deuxième et le crochet survenait plus rapidement. A la même intensité de décharge, l'élément à 50° C. donnait 4 h. 20 tandis que l'autre tombait après 3 h. 20. Le rapport des capacités dans les deux cas est égal à 1,3.

Pour l'étude des capacités individuelles de chacune des électrodes, positive et négative, on a pris comme électrode auxiliaire la tôle nickelée formant le vase. On a pu se rendre compte de ce fait que pendant la décharge, la tension cathodique (celle due au fer) varie très peu, tandis que la tension anodique présente la même allure (crochet, deuxième palier) que la tension aux bornes. On en conclut que, dans l'accumulateur étudié, ce sont les positives, en peroxyde de nickel, qui limitent la capacité.

Les essais d'endurance entrepris sur le gros élément ne sont pas encore terminés. Le mode opératoire a été le suivant : après 27 charges et décharges préliminaires, l'élément a été soumis à des charges à potentiel constant 1,7 volt; les décharges commençaient 10 minutes après les charges et duraient 2 h. 10 ; les intensités de décharge, variables de 30 à 100 ampères, correspondaient sensiblement à celles demandées par une automobile en marche. Un commutateur tournant répétait ces différentes opérations, aux taux de 4 charges et 4 décharges par

Digitized by Google

jour. La capacité debitée à chaque décharge n'était pas la capacité totale (140 ampères-heure seulement environ). Après 50 décharges dans ces conditions (soit 77 décharges en tout) la capacité était encore de 165 ampères-heure à 30 ampères. Actuellement elle est devenue 160 ampères-heure après $98 + 27 = 125$ décharges.

Sur les petits éléments, on a imité divers accidents possibles. On a laissé, par exemple, les plaques à l'air pendant 29 heures à la fin d'une charge. L'élément a pu redonner sa capacité après 4 charges ; mais les deux premières décharges étaient plus faibles. Aprés inversion de l'élément, obtenue en chargeant à 1,2 ampère pendant une heure, quatre fois dans chaque sens, on ne retrouve plus que la moitié de la capacité ; mais celle-ci revient à sa valeur normale après 3 charges.

Il est intéressant de comparer les encombrements relatifs des batteries Edison et des batteries au plomb. A égalité de tension, il faudra n éléments Edison et $\frac{n}{2}$ éléments au plomb. Pour la même énergie de la batterie, il résulte des chiffres donnés par M. Janet que les accumulateurs Edison ont un encombrement de 18,5 cm^3 par watt-heure, alors que les accumulateurs au plomb n'ont que 16,5 cm^3 par watt-heure. En comparant à égalité de nombre d'éléments (par conséquent à tension moitié de la batterie Edison), mais pour une même énergie de batterie, les encombrements deviennent respectivement 18,5 et 17,5 cm^3 par watt-heure. L'accumulateur Edison est donc un peu plus encombrant que l'accumulateur au plomb.

Discussion. — A la suite de cette communication, M. Finzi annonce qu'Edison aurait réussi à augmenter de 30 p. 100 les capacités annoncées ici en montant l'élément avec un nombre plus grand de positives que de négatives. La capacité ayant été reconnue limitée par les positives, Edison place dans le même élément 30 plaques (au lieu de 28), dont 20 positives et 10 négatives. A cet effet les positives sont montées par deux à la fois, un intervalle de 0,5 mm seulement les séparant. Afin de faciliter la circulation du liquide, dans chacune de ces plaques, on enlève une briquette centrale de matière active.

M. Kriéger signale que, dans ses premiers essais sur les électrodes de nickel, il obtenait facilement une couche de peroxyde en chargeant simplement des lames de nickel recouvertes d'un dépôt de nickel électrolytique ou même plus simplement des lames de nickel ordinaire. On obtient une couche assez épaisse de Ni^2O^3 en en constituant le liquide, qui sert à la formation de ces lames, de potasse renfermant 10 p. 100 d'un chlorure alcalin. M. Kriéger pense que l'électrolyte entre en jeu dans les réactions de l'accumulateur Edison : il parle de nickelates de potassium dont la formation serait possible, l'instabilité de ces produits expliquant les décharges spontanées des positives, décharges qui se produisent même lorsque le support en nickel n'est pas apparent, mais est recouvert entièrement d'une couche épaisse de peroxyde. Il faut éviter avec soin les matières organiques qui réduisent le peroxyde de nickel ; aussi doit-on rajouter de l'eau distillée. Enfin, M. Arnoux, parlant du nickelage, rappelle que c'est à De Méritens que nous devons les procédés de nickelage du fer et de l'acier. De Méritens a évité les piqûres qui se produisaient par suite de la présence des bulles d'hydrogène sur la lame de fer à nickeler, en formant d'abord sur cette lame une couche de protoxyde de fer que l'hydrogène réduit ensuite. Il regrette que ce procédé français, appliqué couramment en Amérique, ne le soit pas encore en France.

J. Reyval.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Manchester

Sur les lignes de transmission à grande distance, par **E.-W. Cowan** et **L. Andrews**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 901-923. Juin 1903.

Généralités. — La *tension* maxima réalisée dans la pratique est celle de 80 000 volts, qui a été appliquée pendant deux heures sur une des lignes de la Standard Co, d'Amérique, par un temps défavorable, sans causer aucun dommage. Il n'y a pas lieu de s'en tenir à ce chiffre, puisqu'on a pu faire supporter à des transformateurs des tensions supérieures à 100 000 volts et que les pertes électrostatiques qui se produisent dans les lignes aériennes peuvent être réduites autant qu'on le voudra en écartant suffisamment les fils. Quant au courant de charge statique,

Digitized by Google

qui croît avec la tension, on peut le compenser au moyen de bobines de self, comme il sera dit plus loin Les hautes tensions ne nécessitent qu'un isolement plus parfait de la ligne et des transformateurs ; les frais supplémentaires qu'elles occasionnent sont donc insignifiants. Rien n'empêche d'ailleurs de commencer par distribuer l'énergie à basse tension, puis d'élever la tension au fur et à mesure des développements du réseau, en modifiant simplement les enroulements des transformateurs. — Après bien des variations, la *fréquence* paraît devoir se fixer entre 50 et 60 périodes ; la compagnie du Niagara est à peu près la seule qui ait adopté une basse fréquence. — Il est indispensable dans certains pays de protéger efficacement la ligne contre la *foudre* ; contre les différences de potentiel atmosphériques, on emploie une ronce artificielle reliée au sol (qui n'accroît pas sensiblement la capacité de la ligne) et contre les décharges disruptives, des parafoudres. Comme on le verra plus loin, au sujet de l'influence des arcs, les parafoudres à cornes sont peu recommandables. — On n'est pas d'accord sur les avantages et les inconvénients de la *mise à la terre* du point neutre dans une distribution polyphasée. Les auteurs préconisent cette pratique, qui diminue la capacité statique de la ligne et décèle immédiatement les défauts.

Capacité. — Sur les lignes de grande longueur, même aériennes, le courant de charge est très intense. Une ligne de 160 km, à 50 000 volts et à la fréquence 50, absorbe un courant de charge de plus de 2 000 kilo-voltampères. On peut neutraliser cette capacité par des bobines de self à haut potentiel, de préférence sans noyau de fer, mises en dérivation sur les fils en certains points de la ligne, mais c'est un expédient assez coûteux et qui compromet l'isolation ; de plus il faudrait pouvoir supprimer ces bobines à mesure que la charge croît. Les câbles souterrains absorbent naturellement un courant de charge bien plus grand que les lignes aériennes : pour ceux de Deptford, où la tension est de 10 000 volts, ce courant est de 45 ampères, soit 450 kilo-voltampères.

Quoique ce courant de capacité ne corresponde pas à une perte proportionnelle en watts, il donne lieu cependant à une perte considérable aux faibles charges ; en outre il dérange le réglage, car le courant décalé en avant altère le rapport de transformation des transformateurs et l'excitation des génératrices. La capacité, il est vrai, a l'avantage de produire le courant magnétisant nécessaire aux transformateurs et de compenser la self-induction de la ligne, mais une grande capacité cause cependant bien plus de troubles qu'elle n'en épargne.

Perte en ligne. — La perte dans les conducteurs doit être étudiée dans chaque cas au point de vue économique, dans l'esprit de la loi de Kelvin. Elle peut atteindre 50 p. 100 dans les longues transmissions. La chute de tension due à l'inductance limite à 100 ampères environ le courant qu'on peut transmettre par une ligne de 150 à 300 km de long.

Conducteurs aériens et souterrains. — Pour les grandes distances, les câbles souterrains sont inadmissibles, non seulement à cause de leur prix, mais aussi à cause du courant de capacité qui prend, à la haute tension nécessaire, une valeur inacceptable. En rase campagne, les longues lignes doivent toujours être aériennes ; leur prix d'établissement est, selon M. Earle, le tiers de celui d'une ligne souterraine et elles ont aussi l'avantage d'être bien plus faciles à réparer et de donner lieu à un courant de capacité bien plus faible. Le « Board of Trade » est aujourd'hui disposé à étudier la question des lignes aériennes à haute tension, jusqu'ici interdites.

Construction des lignes aériennes. — On emploie généralement des poteaux de bois de 10 à 12 m de haut, au nombre d'environ 30 par kilomètre. Dans certains cas on les a remplacés par des pylônes d'acier : ceux de l'installation à 60 000 volts de Mexico sont espacés de 132 m et, sur la ligne de Bay Counties (Californie), il y a une portée de 1 200 m. Les isolateurs sont en verre, en porcelaine vitrifiée ou en terre. Les fils en aluminium ont été adoptés quelquefois, par exemple par la Standard Company d'Amérique. A conductivité égale, le poids de ces fils est moitié moindre que celui des fils de cuivre, leur résistance est égale aux 5/8 et leur diamètre est de 30 p. 100 supérieur.

Les fuites électriques entre fils deviennent considérables aux hautes tensions et ne permettent pas d'employer des fils d'un diamètre inférieur à 10 mm. On les écarte ordinairement de 3 m l'un de l'autre.

La self-induction et l'induction mutuelle peuvent donner lieu à des effets notables sur les

Digitized by Google

longues lignes. On neutralise en grande partie l'induction mutuelle par une transposition convenable des fils. La chute de tension due à la self-induction est compensée jusqu'à un certain point par la capacité de la ligne.

Construction des lignes souterraines. — Les câbles souterrains sont partout employés en Angleterre pour la distribution de l'énergie électrique, sauf pour la traction. C'est le procédé dit « solid system » qui est le plus en faveur. On a adopté à Manchester un système spécial, qui consiste à placer les conducteurs à haute tension dans des caniveaux de fonte remplis de bitume. On n'est pas absolument d'accord sur l'épaisseur de diélectrique qui est nécessaire dans ce cas. L'Association des fabricants de câbles a récemment déclaré qu'une épaisseur de 10 mm suffisait pour une tension de 10 000 volts en service courant.

Les auteurs traitent ensuite du réglage et de la protection des distributions à haut potentiel.

Transformateur à induction variable. — Cet appareil, imaginé par l'un des auteurs de ce Mémoire et par M. A. Still, est destiné à régler le voltage dans les feeders ; il a déjà reçu de nombreuses applications. Le principe consiste à mettre le feeder en série avec le secondaire d'un transformateur dans lequel on peut faire varier la tension au moyen d'un volant à main. Dans le cas d'une ligne unique cet appareil est inutile, car on peut alors faire varier la tension aux barres omnibus, mais s'il y a plusieurs lignes dont la longueur ou la charge sont différentes, il faut pouvoir régler la tension indépendamment dans chacune d'elles. L'emploi de ce survolteur statique ne fait pas baisser le rendement, car les pertes dans l'appareil sont parfois moindres que l'économie qu'on réalise en alimentant les barres omnibus à une tension plus faible. La raison en est que les pertes dans les armatures des alternateurs varient à peu près comme le carré de l'induction, et il y a naturellement une bien plus grande masse de fer dans les alternateurs que dans les survolteurs [1].

[1] Les figures 1 et 2 représentent le transformateur à induction variable sous sa forme perfectionnée, dans les positions correspondant à une tension secondaire nulle et à une tension secondaire maxima. Une moitié du circuit secondaire est enroulée sur le noyau mobile, l'autre moitié sur l'anneau ; le primaire est enroulé sur le noyau mobile. Il résulte de cette disposition que le flux induit par le primaire coupe la moitié de l'enroulement secondaire dans le sens positif et l'autre moitié dans le sens négatif, si l'on a fixé le noyau mobile dans la position de la figure 1. La force électromotrice résultante dans le secondaire est donc nulle. Si l'on fait tourner le noyau mobile de 180°, il se trouve dans la position de la figure 2 : le flux coupe alors les deux parties de l'enroulement secondaire dans le sens positif et la force électromotrice résultante est à son maximum.

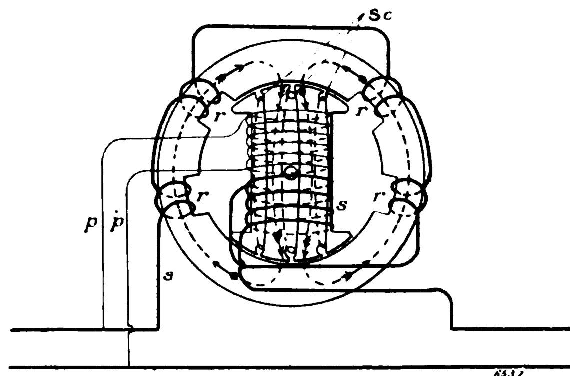


Fig. 1. — Position de tension secondaire nulle.

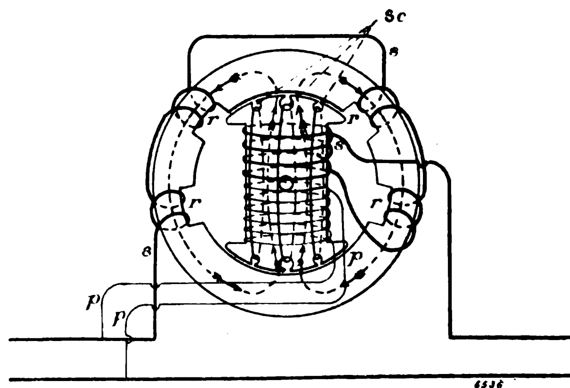


Fig. 2. — Position de tension secondaire maxima.

Dans les positions intermédiaires, la force électromotrice varie de 0 à ce maximum. Les spires marquées Sc sur le diagramme servent à neutraliser l'inductance du circuit secondaire quand le noyau mobile est dans ces positions intermédiaires.

Surélévations anormales de potentiel dans les transmissions. — Ce sujet, bien des fois étudié par l'analyse et par l'expérience, reste encore obscur. On sait que ces surélévations de potentiel sont dues à trois causes : résonance, capacité et self-induction. Leurs effets destructeurs peuvent être considérables ; les auteurs en citent plusieurs exemples. Dans un cas, l'ouverture

Digitized by Google

d'un interrupteur en charge a mis hors de service quatre transformateurs et a fait jaillir des étincelles entre l'armature d'un des alternateurs et ses pôles. Dans le réseau d'Altrincham, quand les fusibles d'un transformateur avaient sauté, on examinait aussi ceux de tous les autres transformateurs situés dans un certain rayon et souvent l'on constatait qu'ils avaient sauté en même temps. A l'Exposition de Paris, un clou ayant été enfoncé dans un câble, l'isolant de celui-ci fut percé simultanément à 1 600 m de là. Sur un câble long de 800 m, possédant une self-induction considérable, on a observé, au moment de la rupture du circuit, une surélévation de potentiel de 250 000 à 500 000 volts, la tension normale n'étant que de 10 000 volts.

Considérons d'abord le cas où l'on ouvre un circuit qui possède self-induction et capacité. La capacité prend alors la place de l'arc formé à l'interrupteur ou au fusible, et agit comme une soupape de sûreté tendant à réduire l'excès de pression ; on pourrait donc croire à première vue que sa présence est utile. Mais l'arc, lorsqu'il est fixe et prolongé, protège la ligne bien mieux que la capacité, car l'énergie électromagnétique accumulée dans le câble se décharge alors à travers une résistance et se dissipe ainsi en travail. Tandis que s'il y a de la capacité, l'arc formé s'éteint aussitôt, l'énergie absorbée par le condensateur arrêtant l'élévation de voltage nécessaire pour maintenir l'arc. Toute l'énergie électromagnétique du câble se trouve donc convertie en énergie électrostatique dans le condensateur. Au moment où le circuit a été ouvert, le condensateur était déjà chargé à la tension normale du réseau, la charge nouvelle qu'il reçoit y détermine donc une élévation de tension qu'on peut calculer en chaque cas. Mais, en outre, le condensateur diffère de l'arc en ce qu'il ne dissipe pas l'énergie qu'il reçoit, mais la renvoie instantanément au circuit où elle reprend la forme électromagnétique pour revenir alors au condensateur et ainsi de suite. L'oscillation qui s'établit alors est basée sur la période propre du circuit ; elle est d'autant plus lente que le circuit est plus long. Sa fréquence est dans tous les cas bien plus élevée que la fréquence normale de distribution. Il a été prouvé que dans certaines conditions il peut se produire une élévation de tension en *volts* égale à *deux cents* fois le courant interrompu en *ampères*.

Il semble donc que la meilleure façon d'ouvrir un circuit de grande inductance consiste à faire jaillir un arc assez long entre les contacts de l'interrupteur. C'est, selon les auteurs, ce qu'il y a de mieux pour les courants continus. Mais avec les courants alternatifs, l'arc à l'air libre introduit une nouvelle cause de troubles. On sait qu'un arc amorcé entre des contacts en charbon émet un son musical quand il est shunté par un condensateur et mis en série avec une self-induction très faible. Ce son est dû à l'intermittence de l'arc, dont les interruptions (du moins dans le cas du courant alternatif) sont au nombre de 3 à 4 000 par seconde. Les conditions d'une surélévation de potentiel sont ainsi réalisées. Il faut donc éviter d'ouvrir à l'air libre les circuits à haute tension ayant de la capacité et de la self-induction, à moins qu'on ne trouve un moyen d'éviter les intermittences de l'arc. L'interrupteur à huile, qui est généralement adopté pour les réseaux alternatifs à haute tension, empêche la formation de l'arc intermittent, mais il a l'inconvénient de couper le circuit instantanément et de donner lieu ainsi aux élévations de voltage dues à la self-induction. C'est cependant le meilleur système qu'on puisse adopter aujourd'hui.

Une autre cause d'élévation de tension, d'ailleurs moins importante, est la résonance qui peut se produire entre les ondes fondamentales ou non, de la force électromotrice de l'alternateur et celles de l'oscillation dans le câble. Ceci ne peut avoir lieu qu'en présence de la capacité et de la self-induction. On a observé ces effets même dans des circuits à courant continu, où les collecteurs des dynamos donnaient lieu à des ondes faibles. Ces élévations de tension sont permanentes quand leur cause est permanente : elles ne donnent généralement pas lieu à des effets graves.

Il peut se produire aussi des élévations de tension quand on ouvre ou quand on ferme un circuit non chargé. Mais, d'après une théorie souvent adoptée, cette élévation ne pourrait dépasser le double de la tension normale.

Il faut donc conclure que les circuits possédant capacité et self-induction ne doivent pas être fermés ou ouverts, en charge ou à vide, d'une manière brusque. On doit aussi éviter l'emploi des fusibles, sauf quand la réactance du circuit n'est pas suffisante pour empêcher un accroissement dangereux de l'intensité.

Digitized by Google

Les auteurs parlent ensuite de quelques systèmes destinés à établir et à couper graduellement le courant dans les distributions ; nous résumons cet exposé en note [1].

Dédoublement des lignes de transmission. — Toute ligne de transmission à haute tension devrait être dédoublée et chacune des deux lignes posée dans des caniveaux ou sur des poteaux distincts. On a dit que pour assurer la continuité du service il vaut mieux ne pas coupler les lignes en parallèle, l'une d'elles étant réservée comme ligne de secours. Mais les pertes par effet Joule, étant proportionnelles au carré de l'intensité, seront quatre fois plus grandes si l'une des deux canalisations reste inactive ; le couplage en parallèle est donc préférable, à la condition qu'on

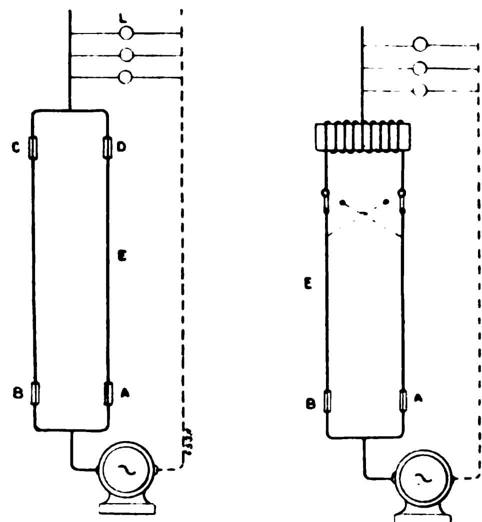


Fig. 4 et 5.

ait un moyen commode de découpler le feeder sur lequel se produit un court-circuit, en continuant à utiliser le feeder intact. On a essayé d'y arriver en plaçant des fusibles à chaque extrémité des deux feeders. Il est évident que tous ces fusibles doivent être de même capacité, puisqu'on ne peut savoir d'avance que tel d'entre eux devra laisser passer plus de courant que tel autre. Or, s'il se produit un défaut en E (fig. 4), c'est le plomb A qui sautera le premier. Le courant passera alors à travers les plombs B, C, D, mais B et C ont maintenant à supporter tout le courant correspondant à la charge L, plus le courant nécessaire pour faire sauter le plomb D ; il est donc presque certain que B ou C sauteront avant D, et le service sera complètement interrompu.

---

[1] *Appareils à charger les câbles.* — Le plus ancien d'entre eux est celui qui fonctionne à Deptford et dans d'autres installations. Le système consiste à fermer le circuit sur une forte inductance qn'on supprime graduellement en manœuvrant un rhéostat liquide, celui-ci étant mis en série avec l'enroulement secondaire de la bobine d'induction. On peut employer un transformateur ordinaire. Cet appareil est en usage journalier à Deptford depuis 1892 et donne toute satisfaction.

Une autre méthode consiste à mettre en marche un moteur alternateur relié séparément au circuit, puis à effectuer la synchronisation et le couplage. Cette manœuvre est lente et nécessite un matériel coûteux. C'est ainsi qu'on procède à Manchester et ailleurs.

L'un des auteurs a imaginé il y a quelques années un troisième système, où l'on se sert d'un transformateur régulateur du type décrit dans la première partie de cette communication. Le secondaire est enroulé de façon à

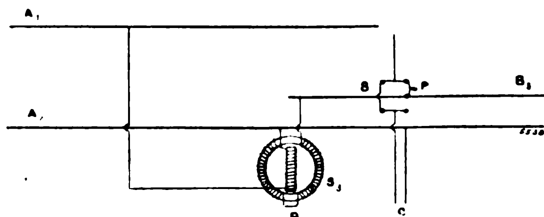


Fig. 3. — Système Cowan et Still pour la charge des câbles.

donner la force électromotrice normale du réseau quand le noyau mobile est dans la position d'effet maximum ; le primaire est excité par les barres omnibus. La figure 3 montre le diagramme des connexions pour une distribution monophasée ; le système s'applique d'ailleurs aussi bien aux courants polyphasés. A_1 et A_2 sont les barres omnibus, R le transformateur régulateur, C est le circuit et B_3 une barre omnibus auxiliaire. Pour charger un circuit, on le relie à la barre B_3 par la cheville P. On manœuvre alors le transformateur de réglage au moyen d'un volant à main jusqu'à ce que la tension secondaire soit égale à celle des barres omnibus principales. On ferme alors l'interrupteur principal et on retire la cheville. L'opération ne dure que quelques secondes et est réversible, c'est-à-dire que les circuits peuvent aussi être ouverts graduellement. L'appareil est peu encombrant, car un seul transformateur suffit pour un nombre quelconque de circuits. Le transformateur, ne restant chargé que très peu de temps, peut fonctionner avec une forte induction dans le fer et une grande densité de courant dans le cuivre. M. Cowan s'est servi d'un transformateur régulateur de 15 kilowatts pour une charge de 150 kilowatts ; l'élévation de température était inappréciable après cinq minutes de marche à pleine charge.

Une autre méthode pour la charge des câbles est celle qu'a imaginée M. Ferranti ; elle consiste à se servir d'une résistance liquide réglable.

Digitized by Google

Cette interruption ne serait pas grave si l'on pouvait distinguer immédiatement le feeder sur lequel s'est produit un défaut et le mettre hors du circuit, mais comme il faut pour cela recourir à un essai, il s'écoule un temps assez long avant qu'on puisse rétablir le courant. Or, la perte causée par l'arrêt de plusieurs centaines de moteurs, pendant un quart d'heure seulement, peut être très forte. Il semble donc qu'une ligne double doive remplir les conditions suivantes.

1° Il faut qu'on puisse, sans accroître les risques d'interruption du service, utiliser les deux lignes de façon permanente, ce qui réduit les pertes par effet Joule de 75 p. 100.

2° Un défaut sur l'une des deux lignes ne doit avoir sur la seconde d'autre effet que de reporter toute la charge sur elle.

3° La transmission d'énergie au centre de distribution ne doit pas être interrompue même momentanément, car l'arrêt le plus court suffit pour amener le décrochage des moteurs synchrones.

La figure 5 représente une disposition simple pour la protection des lignes doubles. On voit que les feeders sont reliés ensemble au point de distribution par une bobine de self, enroulée tout entière dans le même sens. La ligne de distribution part du centre de cette bobine. Dans les conditions normales, le courant se partage également entre les deux feeders et les deux moitiés de la bobine, mais le courant venant d'un des feeders circule autour du noyau dans un sens opposé à celui du courant de l'autre feeder, de sorte que l'enroulement est parfaitement non inductif et n'oppose au courant que sa résistance ohmique. S'il se produit un défaut en E, par exemple, le plomb B sautera et le courant tendra à revenir vers le point du court-circuit en traversant la bobine. Mais ce courant circulant maintenant tout entier dans le même sens, la bobine deviendra fortement inductive et empêchera le courant allant vers le défaut de prendre une grande intensité. La distribution ne sera pas interrompue même momentanément, mais la tension baissera de moitié et se maintiendra ainsi tant que le câble défectueux restera relié à la bobine de self. Les instruments de la station de distribution indiqueront immédiatement le feeder à mettre hors circuit. Il est évident que lorsqu'il n'y a plus qu'un feeder en service, il faut ou bien mettre la bobine en court-circuit, ou la relier de telle sorte au feeder que le courant se partage également entre ses deux moitiés. On pourra employer pour cela le commutateur à deux directions qu'indique la figure. Les auteurs décrivent un moyen de l'actionner automatiquement.

P. L.

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (1)

Sur la dissociation de l'anhydride carbonique des solutions de carbonate de sodium, par **F.-W. Küster**, de Clausthal. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 679, 20 août 1903.

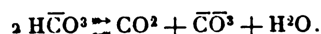
On sait que le bicarbonate de sodium, cristallisé ou dissous, perd, à l'air, de l'acide carbonique et qu'ainsi la solution du sel renferme aussi du carbonate à côté du bicarbonate. Il est connu aussi que la température et la présence de la potasse favorisent cette décomposition. Ainsi, par l'ébullition, on peut transformer complètement en carbonate une solution de bicarbonate. Mais les données des différents auteurs sur ce phénomène sont très différentes. Bodländer a clairement montré que cette action dépend uniquement de la tension de l'acide carbonique au-dessus de la solution, ce qui est compréhensible, d'après nos connaissances actuelles.

Dans une solution de bicarbonate, se trouvent en présence du sel non dissocié, les ions $\overset{+}{Na}$ et $H\bar{C}O^3$, ces derniers étant en équilibre avec l'acide carbonique non ionisé H^2CO^3. Cet acide carbonique non ionisé est proportionnel à la pression du gaz carbonique :



$$H^2CO^3 \rightleftarrows CO^2 + H^2O.$$

D'autre part, il existe aussi l'équilibre



$$2\,H\bar{C}O^3 \rightleftarrows CO^2 + \bar{C}\bar{O}^3 + H^2O.$$

D'où Bodländer a calculé l'équation d'équilibre

$$(H\bar{C}O^3)^2 = \bar{C}\bar{O}^3 . CO^2 . 1159.$$

Le bicarbonate ne peut ainsi exister qu'en présence de l'acide carbonique libre ; il doit disparaître avec ce dernier. Mais on peut aller

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 590, 5 sept. 1903, et t. XXXVII, p. 37, 110 et 148, 3, 17 et 24 octobre 1903.

Digitized by Google

plus loin encore, car pour le carbonate pur, la pression de l'acide carbonique n'est pas nulle. Au début, la solution de carbonate de sodium ne donne que les ions $\overset{+}{Na}$ et $\overline{\overline{CO^3}}$. Mais bientôt par l'hydrolyse importante du carbonate (réaction fortement alcaline) existent les ions $H\overline{CO}^3$ qui déterminent, comme on a vu plus haut, la formation d'acide carbonique libre. Il est donc possible théoriquement, en éloignant progressivement l'acide carbonique, d'aller jusqu'à la soude pure.

Ceci paraît en contradiction avec les données pratiques. En effet, une solution de carbonate de soude se transforme en bicarbonate en absor-

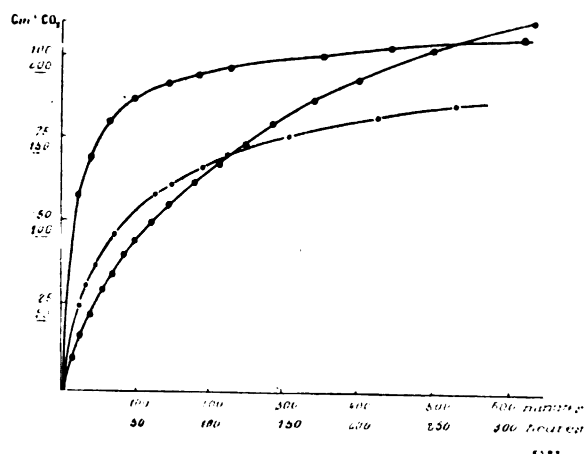


Fig. 1.

bant l'acide carbonique de l'air. L'explication est très simple, c'est que la pression de l'acide carbonique dans l'air est plus grande que celle qui existe dans la solution de carbonate.

En collaboration avec Max Grüters, l'auteur a mesuré les tensions d'acide carbonique dans les solutions en commençant par celles saturées d'acide carbonique à la pression atmosphérique et en allant jusqu'aux solutions de carbonate renfermant déjà des quantités importantes de soude.

Les expériences étaient effectuées à 25 et à 90° C. Les solutions étaient contenues dans un tube d'argent de 7 m de longueur enroulé en spirale et qui était traversé par un courant de gaz tonnant provenant de la décomposition électrolytique d'une lessive de soude.

Des quantités d'acide carbonique entraînées par les quantités connues de gaz tonnant, on déduisait la tension de cet acide carbonique.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus à la température de 25° C. avec un mélange de carbonate et de bicarbonate, les solutions étant d'ailleurs normales en sodium. On notait le volume d'acide carbonique emporté en une heure, le courant de gaz tonnant correspondant à une intensité de courant de 1 ampère

Na^2CO^3	$NaHCO^3$	cm³ de CO^2 par heure
0,0 à 3,0 p. 100	100 à 97 p. 100	17,88
10,8 »	89,2 »	5,43
19,3 »	80,7 »	2,56
28,6 »	71,4 »	1,60
36,0 »	64,0 »	1,00
49,2 »	50,8 »	0,50
53,0 »	47,0 »	0,42
59,9 »	40,1 »	0,27
69,2 »	30,8 »	0,14
82,0 »	18,0 »	0,042

Dans une deuxième série d'essais, les auteurs ont déterminé les quantités totales d'acide carbonique dégagé en fonction du temps, à la température de 90° C., avec les solutions de bicarbonate de sodium. Les résultats en sont représentés en figure 1. La courbe supérieure correspond au temps total de l'essai, 300 heures. La deuxième courbe, moins incurvée, représente la première partie des essais, pendant 60 heures, à une échelle d'abscisses 5 fois plus grande. Enfin la courbe à plus faible courbure se rapporte aux 10 premières heures.

Les auteurs déterminèrent également les vitesses de dégagement d'acide carbonique à 90° C. pour les solutions suivantes

Na^2CO^3	NaOH	cm³ de CO^2
100 p. 100	0 p. 100	0,014
90 »	10 »	0,0056
80 »	20 »	0,0022

Il était particulièrement intéressant en effet de faire cette recherche si, par suite de la perte progressive d'acide carbonique, le mélange de bicarbonate et de carbonate devait se transformer en un mélange de carbonate et d'hydroxyde. Dans cette hypothèse, le point où la solution pouvait être considérée comme une solution de carbonate pur devait être un point singulier. La figure 2 qui se rapporte à un mélange de carbonate avec le bicarbonate et la soude, montre qu'il n'en est pas ainsi. La courbe est en effet

Digitized by Google

absolument continue au point Na^2CO^3 et une courbure ne survient qu'au point où la solution renferme en équivalent 17 p. 100 de bicarbo-

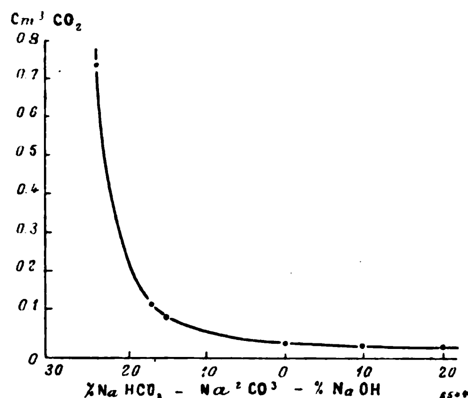


Fig. 2.

nate. L'allure de cette courbe correspond aussi à la courbe de conductibilité des mélanges de bicarbonate, carbonate et soude. La figure 3 qui représente cette courbe de conductibilité montre que la courbure se fait ici vers 7 p. 100 $NaHCO^3$

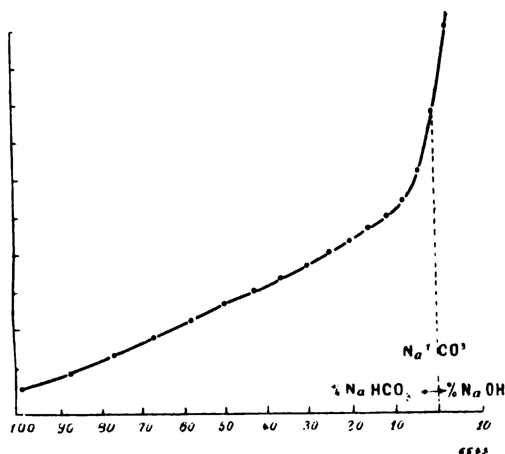


Fig. 3.

+ 93 p. 100 Na^2 CO^3; la différence provient sans doute du fait que les mesures de conductibilité ont été effectuées à 25° C., l'hydrolyse étant alors bien moins importante qu'à 90° C.

L. JUMAU.

Sur la décomposition de l'oxyde de carbone, par **Rudolf Schenck**, de Marburg. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 691, 20 août 1903.

Sainte-Claire-Deville avait observé que, dans certaines circonstances, l'oxyde de carbone peut se scinder en carbone et acide carbonique. Pour que cette action ait lieu, la présence d'un catalyseur est nécessaire. Le fer est, comme on le sait depuis longtemps, très actif comme substance de contact. Dans les hauts fourneaux il se produit parfois une séparation de carbone très importante et qui est due à l'oxyde de carbone.

La réaction a été étudiée en détail par Boudouard qui a mesuré l'influence de la température et de la concentration sur l'équilibre



$$2\,CO \rightleftarrows C + CO^2$$

et a trouvé que les oxydes de cobalt, nickel et fer favorisent beaucoup cette réaction.

L'auteur a entrepris, en collaboration avec F. Zimmermann, des recherches qui ont montré que ce ne sont pas les oxydes, mais les métaux libres à l'état finement divisé qui agissent.

Comme la décomposition de l'oxyde de carbone est accompagnée d'une variation de volume et de pression des gaz, la réaction était étudiée ici dans un thermomètre à air modifié et on mesurait la variation de pression en fonction du temps aux différentes températures.

Outre les métaux du groupe du fer, l'auteur a essayé l'argent qui, d'après Berthelot, devait agir; mais il a reconnu que ce métal est sans action.

Aux basses températures, la décomposition est monomoléculaire; elle est bimoléculaire aux températures élevées; elle dépend d'ailleurs de la nature du métal ainsi qu'il résulte du tableau suivant.

Température	Nickel	Fer
310° C.	monomoléculaire	—
360	»	monomoléculaire
445	bimoléculaire	»
508	—	bimoléculaire

Les figures 1 et 2 montrent que pour le nickel et le cobalt, la pression atteint une valeur limite un peu supérieure à la moitié de la valeur initiale, de sorte qu'on peut conclure que la réaction ne se fait pas jusqu'à complète décomposition de l'oxyde de carbone, mais qu'il se produit un état d'équilibre entre les deux gaz et le carbone solide.

Par contre, en présence du fer, la réaction se poursuit jusqu'à disparition presque complète des gaz (fig. 3). Dans ce cas, en effet, deux actions se

Digitized by Google

produisent simultanément : 1° décomposition de l'oxyde de carbone sous l'influence catalytique du métal ; 2° oxydation du métal par l'acide car-

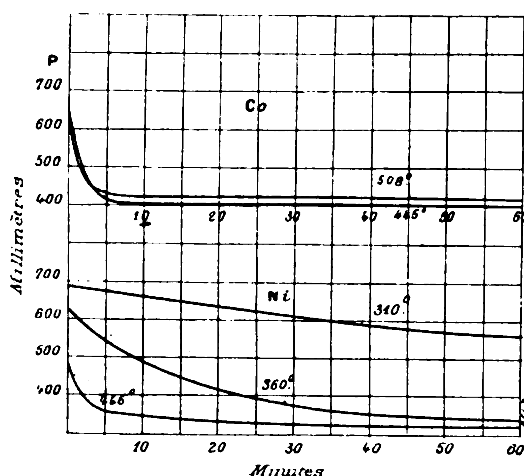


Fig. 1 et 2.

bonique. Mais celui-ci ne peut oxyder le métal que s'il possède une tension partielle suffisante, lorsque la décomposition de l'oxyde de carbone est suffisamment avancée. Dans la deuxième phase du procédé, où l'oxydation du métal se

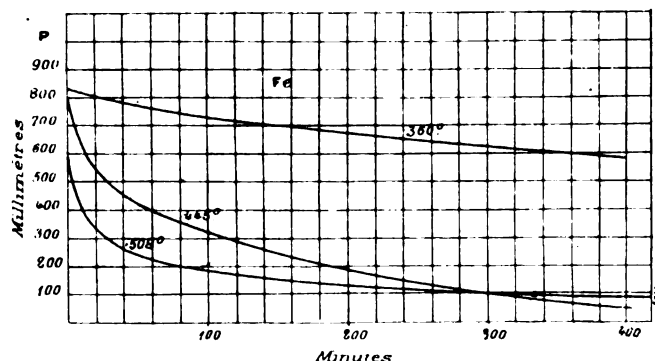


Fig. 3.

fait à côté de la décomposition de l'oxyde de carbone, le mélange des gaz doit avoir une composition constante en pour 100, car les gaz doivent se placer en équilibre avec le métal et l'oxyde. Ceci est indépendant de la concentration, car l'action oxydante se fait sans variation du volume gazeux.

Comme dans ce cas, la tension partielle de l'oxyde de carbone est une fraction déterminée de la pression totale, la vitesse de réaction doit être proportionnelle à la pression totale des gaz.

En appelant p la tension partielle de l'oxyde de carbone, P la pression totale, la vitesse de réaction est

$$-\frac{dp}{dt} = k.\, p^n.$$

Dans le cas d'équilibre entre le fer, l'oxyde de fer et les deux oxydes du carbone, on a l'équation

$$\frac{p}{P-p} = \tau_1 \qquad \text{ou} \qquad p = \frac{\tau_1}{\tau_1+1}\, P.$$

D'où il résulte

$$-\frac{dp}{dt} = k\left(\frac{\tau_1}{\tau_1+1}\,.\,P\right)^n = K.P^n,$$

si on pose

$$K = k.\left(\frac{\tau_1}{\tau_1+1}\right)^n$$

Comme le commencement de la réaction de décomposition, avant l'équilibre, donne la valeur de k, on peut calculer τ_1, la constante d'équilibre du haut fourneau

$$\tau_1 = \frac{\sqrt[n]{K}}{\sqrt[n]{k} - \sqrt[n]{K}}$$

On trouvait pour cette grandeur les valeurs 1,12 à 445° C, et 0,892 à 508° C. Il en résulte que la composition des gaz est la suivante :

à 445° C.	52,8 p. 100 CO	et	47,2 p. 100 CO^2
à 508° C.	47,1 p. 100 CO	et	52,9 p. 100 CO^2

On peut se demander dans quelles conditions un métal occasionne les phénomènes de décomposition tels qu'ils sont obtenus par la présence du nickel.

Théoriquement, pour chaque métal deux cas sont possibles selon la concentration du gaz et la température. Dans la figure 4, on a porté en ordonnées les tensions partielles p de l'oxyde de carbone et en abscisses la pression totale P des deux gaz, la température étant constante. S'il y a équilibre entre CO, CO^2 et le carbone, on a

$$\frac{p^2}{P-p} = \zeta \qquad \text{ou} \qquad p^2 - \zeta . p = \zeta . P.$$

L'équation représente une parabole. Si les deux gaz sont en équilibre avec le métal et l'oxyde, on a

$$\frac{\cdot}{P-p} = \tau_1 \qquad \text{ou} \qquad p.\frac{\tau_1+1}{\tau_1} = P$$

Digitized by Google

La fonction (p, P) est alors représentée par une droite qui part de l'origine. L'angle φ que forme cette droite avec l'axe des abscisses donne la mesure de la constante η_1. On a en effet

$$\frac{p}{P} = \frac{\eta_1}{\eta_1 + 1} = \operatorname{tg}\varphi.$$

Plus le métal est noble, plus η_1 est petit et plus la droite se rapproche de l'axe des abscisses. L'angle φ est ainsi une mesure de l'affinité du métal pour l'oxygène.

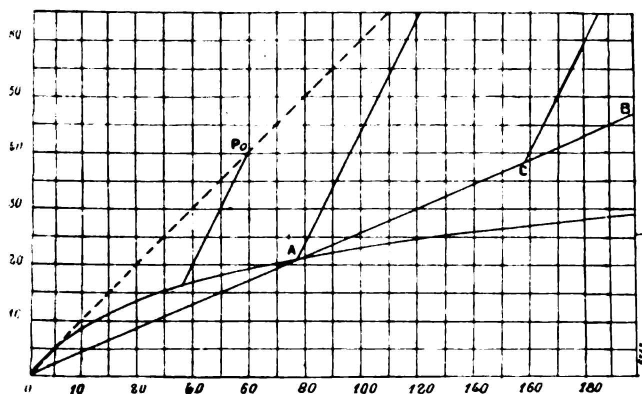


Fig. 4.

L'équilibre entre le carbone, le métal, l'oxyde du métal et les deux oxydes du carbone est donné par le point de coupure A de la droite avec la parabole. Les conditions sont ainsi facilement données. Au point A on a

$$p \cdot \eta_1 = \zeta \qquad p_A = \frac{\zeta}{\eta_1}$$

$$\frac{\zeta}{\eta_1} \cdot \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1} = P \qquad P_A = \frac{\zeta(\eta_1 + 1)}{\eta_1^2}$$

Plus η_1 est petit, plus est élevée la pression du gaz qui correspond à l'équilibre. P_A devient d'autant plus grand que le métal est plus noble. Si on laisse l'oxyde de carbone pur se décomposer, à la pression initiale $p = P_0$, p et P baissent et la pression des gaz est définie par la droite

$$p + P_0 = 2P$$

déterminée par la valeur initiale P_0. Les différentes valeurs initiales donnent un groupe de parallèles qui doivent couper la parabole et la droite OB. Selon la valeur initiale, le point de coupure peut se trouver à droite ou à gauche du point d'équilibre A.

A gauche de A, c'est la parabole qui est d'abord rencontrée.

Comme l'équilibre des gaz avec le carbone est atteint, et comme la concentration de l'acide carbonique n'est pas suffisamment grande pour oxyder le métal, la réaction prend fin. C'est le cas lorsque

$$P_0 < \frac{\zeta(\eta_1 + 2)}{\eta_1^2}.$$

par contre, si P_0 est plus grand que cette valeur, le groupe des parallèles rencontre d'abord, la droite OB. A partir du point de coupure C, la décomposition de l'oxyde de carbone ne se fait plus suivant P_0 C, mais suivant CA et jusqu'à ce que le point d'équilibre A soit atteint. Alors la réaction prend fin. C'est le cas présenté par le fer.

Lorsque la température s'élève, ζ croît, la parabole s'étend et η_1 varie. Tout dépend d'ailleurs du caractère de la réaction d'oxydation.

Pour le fer, la variation de η_1 n'est que faible car la chaleur de réaction est petite. Par suite P_A croît fortement lorsque monte la température de sorte que finalement, pour les valeurs initiales de P_0 employées, la décomposition de l'oxyde de carbone par le fer a lieu comme cela est observé en présence des métaux nobles.

L. J.

Théorie élémentaire des électrolyseurs à diaphragme, par **Ph.-A. Guye**, de Genève. *Zeitschrift für Electrochemie*, t. IX, p. 771, 10 septembre 1903.

F. Fœrster et ses élèves ont montré que pendant l'électrolyse d'une solution de chlorure alcalin, le rendement en soude dans les électrolyseurs à diaphragme peut être représenté par

$$r = 1 + nx,$$

n étant le transport de l'alcali et x une fonction de la conductibilité électrique du chlorure alcalin ou, ce qui revient au même, une fonction des concentrations du chlorure et de l'alcali, ainsi que de la température.

L'étude exacte des variations de r, dans les conditions ordinaires, montre que r peut être considéré comme fonction d'une seule des variables indépendantes, c'est-à-dire de la concentration en alcali c exprimée en molécules-grammes par litre. On a ainsi

$$r = f(c)$$

Digitized by Google

D'après cela, on établit facilement la formule qui représente la marche de l'électrolyse. Pour une quantité d'électricité dF passant dans l'électrolyte, il se forme rdF molécules $NaOH$ dans le compartiment cathodique. Si on appelle V le volume de liquide dans ce compartiment cathodique, l'augmentation de la concentration devient Vdc molécules $NaOH$. Ces deux grandeurs sont égales

$$rdF = Vdc;$$

d'où

$$dF = V \frac{dc}{f(c)}$$

et en intégrant entre $F = 0$ et $F = m$, de $c = 0$ jusque $c = c$, on a

$$m = V \varphi(c),$$

$\varphi(c)$ représentant l'intégrale du second terme.

Les recherches effectuées au laboratoire de physique de l'Université de Genève ont montré que $r = f(c)$ peut être représenté avec une exactitude suffisante par

$$x = \frac{1}{(1 + ac)^{1/3}} \text{ et } r = \frac{1}{1 + ac},$$

selon que la solution cathodique est ou n'est pas saturée de chlorure de sodium.

L. J.

Sur les emplois industriels de la concentration des solutions par la congélation et sur la production du froid par l'action des solutions concentrées sur la glace, par **G. Monti**, de Turin. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 765, 10 septembre 1903.

Les nombreuses recherches effectuées en vue de concentrer les liquides, le vin particulièrement, par la congélation, ont échoué à cause des difficultés de séparation des parties utiles de la glace et aussi à cause de l'action très énergique exercée sur les vins et les jus de quelques fruits par l'air transformé en ozone et quelques acides concentrés.

L'auteur a trouvé que les substances dissoutes dans le vin, la bière et, en général, toutes les solutions alcooliques douces et acides, se concentrent d'abord dans l'eau logée entre les cristaux de glace pure. Si on laisse congeler le liquide en question à une température $2t + 2$ (t étant la température, toujours négative, de fusion) dans un tube de hauteur suffisante et dont la partie inférieure est isolée, puisqu'on laisse fondre la glace à la partie supérieure, on sépare ainsi d'abord la solution concentrée puis les petites eaux.

En filtrant très lentement ces petites eaux préalablement refroidies à leur température de fusion, sur un autre tube suffisamment haut et rempli de solution congelée, la glace ne fond presque pas, de sorte qu'on peut recueillir d'une part la glace pure et d'autre part les solutions condensées et les petites eaux que l'on soumet à une nouvelle opération.

Pour éliminer une tonne d'eau par congélation, on dépense 72 kg de houille, alors qu'il en faut 120 pour l'évaporation directe.

La condensation des solutions par congélation est donc économique. Dans le cas où on ne dispose pas de machines à froid, on peut obtenir un écoulement ininterrompu de solution refroidie à — 25° C. en filtrant une solution concentrée et très froide de chlorure de calcium ou d'acide sulfurique à 42° B. à travers un tube de 3 m de hauteur rempli de glace.

L'auteur a employé son procédé, qui permet de travailler complètement à l'abri de l'air, pour la condensation de 85 espèces de vins italiens, de bières allemandes, ainsi que pour la fabrication d'extraits de thé, café, etc.

L. J.

Sur les installations galvanoplastiques, par **H. Sackur**, de Berlin. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 759, 10 septembre 1903.

L'orateur s'étend sur les progrès qui ont été faits depuis le remplacement des piles, comme source d'énergie, par les machines dynamo-électriques. Il cite le nickelage des tôles de zinc, l'étamage du fer, les améliorations réalisées dans les dynamos. Il donne des détails sur la disposition d'un atelier, sur le polissage, le décapage et le séchage.

Le Gérant : **C. NAUD.**

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 21 Novembre 1903. 10e Année. — N° 47

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

L'HYPOTHÈSE DES ÉLECTRONS

ET LA CORRÉLATION DES FORCES PHYSIQUES

Première Partie. — L'Électron considéré comme phénomène

(Réponse à la conférence de Sir O. Lodge). [1]

Le jour même [2] où avait lieu au *Belfast College* la conférence de sir O. Lodge *sur les électrons* ou *Electricité et Matière* [3] dont le but était de démontrer la nature électrique de l'inertie de la matière, je faisais à la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève une lecture *Sur l'éther-électricité et la constante électrostatique de gravitation* ou *Aperçu d'une théorie électronique des radiations et de la gravitation universelle* [4] dans laquelle j'établissais l'électron comme la forme cinétique de la cellule de l'éther, dont le vortex est la masse matérielle active.

L'importance incontestable de la conférence de Sir O. Lodge, pour la nouveauté de ses vues synthétiques et de la théorie qui les embrasse, m'a paru être une raison suffisante pour tâcher d'ouvrir ici une discussion aussi large que possible sur ce sujet. La collaboration des physiciens pour constituer une théorie unique qui puisse guider avec sûreté la marche de la science, est aujourd'hui désirable, plus que jamais, car les nombreuses vues

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXVI, nos 30 et 31 du 31 juillet et du 1er août 1903.

(2) 5 février 1903.

(3) *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 45-110, février 1903.

(4) *C. R. de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève* de la séance du 5 février 1903.

Digitized by Google

personnelles traçant de nouveaux chemins dans toutes les directions, ont déjà formé un ensemble qui est un véritable labyrinthe. Un grand travail de synthèse s'impose, mais pour qu'il ne reste point stérile, il faut qu'il soit précédé par une discussion sur le choix des notions fondamentales sur lesquelles se fera l'élaboration de la théorie [1].

Hertz avait prévu cette voie, elle est nettement indiquée dans les lignes suivantes : *L'un des problèmes les plus ardus est celui des actions à distance. Sont-elles réelles ? De toutes celles qui nous semblaient incontestables, une seule nous reste, la gravitation. Nous échappera-t-elle aussi ? Les lois mêmes de son action le font penser. La nature de l'électricité est une de ces grandes inconnues. Elle se ramène à la question de l'état des forces électriques et magnétiques dans l'espace. Derrière celle-ci se dresse le problème le plus important de tous, celui de la nature et des propriétés de la substance qui remplit l'espace, de l'éther, de sa structure, de ses mouvements, de ses limites s'il en possède. Nous voyons de plus en plus cette question dominer toutes les autres; il semble que la connaissance de l'éther ne doive pas seulement nous révéler l'état de la substance impondérable, mais nous dévoiler l'essence de la matière elle-même et de ses propriétés inhérentes, la pesanteur et l'inertie. Les antiques systèmes de physique se résumaient en disant que tout est formé d'eau et de feu. Bientôt la physique moderne se demandera si toutes les choses existantes ne sont pas des modalités de l'éther. C'est là la fin dernière de notre science; ce sont les sommets ultimes auxquels nous puissions espérer d'atteindre. Y parviendrons-nous jamais ? Sera-ce bientôt ? Nous n'en savons rien. Mais nous sommes montés plus haut que jamais, et nous possédons un point d'appui solide qui nous facilitera l'ascension à la recherche de vérités nouvelles. La voie qui s'ouvre à nous n'est pas trop escarpée, et la prochaine étape ne paraît pas inaccessible. Du reste, nombreuse est la foule des chercheurs pleins d'ardeur. Aussi est-ce avec confiance qu'il nous faut saluer toutes les tentatives qui seront faites dans cette voie* [2].

Avant et après Hertz, d'illustres physiciens de différents pays ont exposé des idées semblables, je ne nommerai que les plus célèbres disparus, Mossotti, Edlund, Clausius, Rowland, Ferraris et Cornu. Tous croyaient à l'unité de la matière et considéraient comme absurdes et n'étant que des apparences trompeuses les actions à distance, soit attractives ou répulsives. Tous voyaient dans l'éther le réceptacle de toute l'énergie et dans son mécanisme intime, donnant lieu à d'innombrables modifications, l'origine des corps pondérables et la source de tous les phénomènes. Ces savants étaient convaincus qu'en appelant qualitatives certaines forces, et en les distinguant l'une de l'autre simplement par un nom spécial, sans se préoccuper de leur nature réelle, nous ne faisions que reconnaître notre ignorance complète des modifications mécaniques qui leur donnent naissance; ils pensaient que la recherche de ces dernières, bien que très scabreuse, non seulement ne sort point de notre champ d'investigation, mais constitue le but suprême de la science.

M. P. Duhem, dans l'introduction de son intéressante étude historique et critique des théories électriques de Maxwell, dit : *Une théorie physique unique qui, du plus petit nombre possible d'hypothèses compatibles entre elles, tirerait, par des raisonnements impeccables, l'ensemble des lois expérimentales connues est évidemment un idéal dont l'esprit humain n'atteindra jamais la perfection; mais s'il ne peut atteindre cette limite, il doit sans cesse y tendre; si diverses régions de la physique sont représentées par des théories sans lien*

---

(1) Séance de la Soc. de Phys. de Genève du 8 janvier 1903.

(2) *La Lumière électrique*, t. XXXIV, p. 240-246. Conclusion de la communication faite par H. Hertz au Congrès des naturalistes et médecins allemands, à Heildelberg en 1889 sur l'identité de la lumière et de l'électricité.

Digitized by Google

les unes avec les autres, voire même par des théories qui se contredisent lorsqu'elles se rencontrent en un domaine commun, le physicien doit regarder ce disparate et cette contradiction comme des maux transitoires; il doit s'efforcer de substituer l'unité au disparate, l'accord logique à la contradiction; jamais il n'en doit prendre son parti. [1].

Et plus loin, M. Duhem ajoute : *Surtout devons-nous nous garder soigneusement d'une erreur qui est de mode, aujourd'hui, en une certaine école de physiciens; elle consiste à regarder les théories illogiques et incohérentes comme de meilleurs instruments de travail, comme des méthodes de découverte plus fécondes que les théories logiquement construites; cette erreur aurait quelque peine à s'autoriser de l'histoire de la science* [2].

Quelques physiciens anglais, sous l'énergique impulsion de l'œuvre de Faraday, étaient déjà entrés hardiment dans cette voie. Des mécanismes plus ou moins compliqués ont été imaginés et modifiés à plusieurs reprises par Maxwell, par Lord Kelvin et par Sir O. Lodge et M. Larmor. Ces mécanismes sont loin encore de donner la solution de l'abstrus problème, mais leur utilité est indéniable si l'on veut bien les considérer comme les premiers nivellements accompagnés des premiers coups de pioche qui ont ouvert une tranchée laissant entrevoir la direction du chemin qui conduira à la corrélation des forces physiques par l'établissement d'une théorie cinétique générale.

Sir O. Lodge, dans sa conférence, cite plusieurs phrases du traité de Maxwell, entr'autres la suivante : *Il est très improbable que, lorsque nous connaîtrons la vraie nature de l'électrolyse, nous retenions sous une forme quelconque la théorie des charges moléculaires, car ayant alors une base sûre pour la théorie des courants électriques, nous n'aurions plus besoin de ces théories provisoires.* « Il est téméraire, dit Sir O. Lodge, de prédire ce qui arrivera en dernier lieu, mais l'état actuel de la science électrique paraît défavorable à cette dernière prédiction de Maxwell. » Au contraire, il me semble que ce ne sont point nos connaissances électriques actuelles qui y paraissent défavorables, mais seulement quelques-unes des récentes théories. Celle de Sir O. Lodge considère toute la charge d'un ion négatif comme la molécule de l'électricité, comme l'élément qu'on appelle électron. Or, en prenant comme point de départ une charge qu'on nomme molécule, on n'a certainement pas avancé dans la connaissance de la charge elle-même, on n'a fait que transporter plus loin la difficulté sans la faire disparaître, et l'on se met, en outre, dans l'impossibilité d'étudier la forme cinétique du phénomène électrostatique à son origine, et celle de toutes les autres modifications électriques et magnétiques.

Les lignes de force doivent, elles-mêmes, être envisagées comme des effets ; il faut donc trouver la forme cinétique de l'énergie qui les produit, car toute énergie doit avoir une forme cinétique. Le mouvement seul et l'énergie seule sont des abstractions, c'est le mouvement de la matière et l'énergie de ce mouvement qui sont des réalités physiques, parce qu'absolument inséparables de la matière.

Sir O. Lodge dit : *Quand un corps se meut, l'éther qui l'environne ne se meut pas, rien en physique n'est plus certain que cela. L'éther, en effet, est immobile, il est susceptible de se tendre, mais non de se mouvoir; il est le siège du potentiel non celui de l'énergie cinétique.* Comme rien ne peut se tendre sans se mouvoir, on doit interpréter que l'éther, pour se tendre, se tord, par exemple, mais ne se déplace pas. C'est ce que j'ai indiqué dans mon travail en disant : « L'éther dans sa masse totale est immobile, et ses molécules-tourbillons ou vortex vibrent, mais ne peuvent sortir de leur propre sphère d'action dont

---

[1] P. Duhem. *Les théories électriques de J. Clerk Maxwell.* Paris, A. Hermann, 1902, p. 14.

[2] Idem. p. 15.

Digitized by Google

les limites sont celles des sphères d'action des vortex contigus. » En outre, pour rendre compréhensible l'élasticité de l'éther, j'ai admis que le vortex, tout en constituant l'élément de masse matérielle, est formé par un grand nombre de particules extrêmement petites en mouvement tourbillonnaire perpétuel.

Si l'on conçoit de cette façon la matérialité de l'éther, on est forcé de reconnaître que s'il est le siège du potentiel il doit être également celui de l'énergie cinétique. La conception mathématique du potentiel se relie alors à la réalité physique, qu'autour de chaque corps existe toujours une forme cinétique de l'éther, laquelle est une modification de celle de l'éther libre, modification liée à un état d'équilibre instable.

Lorsqu'on a affaire avec la forme cinétique de l'éther qu'on appelle chaleur radiante, on donne le nom de température au potentiel. En effet, une différence de température produit simultanément les deux types de phénomènes, la convection et la radiation caloriques, analogues à ceux qui sont produits par une différence de potentiel électrique. Nous n'avons plus aucun doute au sujet de la similitude entre la radiation thermique et la radiation électrique, qui ne diffèrent que par la longueur d'onde, ou, ce qui revient au même, par le nombre des vibrations; pourquoi donc voudrions-nous admettre une différence qualitative, et non simplement cinétique, entre les deux modes de transmission qui constituent les phénomènes de la convection thermique et de la convection électrique? D'autant plus que nous savons que cette dernière se superpose toujours à l'autre qui est, elle-même, toujours accompagnée de la radiation thermique. Cette liaison montre que lorsqu'on veut pénétrer jusqu'à l'origine mécanique d'un phénomène, on ne peut pas se contenter de l'étudier séparément, mais il faut l'envisager au milieu des autres.

Dans ses conclusions sur l'inertie électrique, Sir O. Lodge dit : *De plus, en vertu des lois de l'induction électromagnétique, la charge électrique possède une sorte d'inertie particulière, et, par là, donne le simulacre de la propriété fondamentale de la matière.* Certainement, et ce simulacre est une réalité et dépend de la matérialité de l'éther.

En effet, à propos de l'hypothèse des électrons, il y a une question à résoudre, qui est la suivante :

L'électron est-il une masse fluidique spéciale se déplaçant dans l'éther, ou bien, est-il un mode de mouvement de l'éther même se propageant dans l'éther, sans qu'il y ait déplacement de ce dernier? Sir O. Lodge a accepté la première conception, je vais essayer de démontrer que c'est la deuxième qu'il faut choisir.

Il n'est pas nécessaire d'insister ici sur les conséquences théoriques d'une importance capitale qu'entraînerait la solution de cette question. En effet, le premier concept est de nature métaphysique, car il conserve l'hypothèse surannée des deux fluides électriques ayant à leur suite les forces qualitatives, comme les appelle M. P. Duhem; concept qui n'est plus admis par les électro-techniciens, et ne joue d'ailleurs aucun rôle dans tout le vaste chapitre de l'électromagnétisme, dans lequel on chercherait vainement aussi les deux fluides magnétiques que Coulomb déjà avait éliminés et que, pourtant, Ampère et Faraday réussirent avec beaucoup de peine à faire abandonner par les physiciens de leur temps. Au contraire, le deuxième concept conduit à une théorie purement cinétique de l'électricité, se basant sur cette conséquence du théorème de Gauss : « La surface d'un conducteur est électrisée positivement au point d'où part une ligne de force et négativement au point où arrive une ligne de force », mais considérant ces lignes hypothétiques comme les directions réelles des actions de la matière sur la matière, matière dont la manière d'être n'est autre que celle d'un ensemble de particules extrêmement petites en mouvement. Comme les liaisons entre les mouvements synchrones produisent des tensions et des pressions, l'on

Digitized by Google

adopte la notion de potentiel, en faisant la remarque que le potentiel du point de départ est toujours plus élevé que celui du point d'arrivée. L'hypothèse des deux fluides électriques se trouve de cette façon éliminée et l'explication des phénomènes physiques en est plus claire et plus exacte, si l'on prend comme base, non pas l'électron élément de charge, sous la forme de l'ensemble de la charge totale d'un ion, mais sous la forme d'un élément cinétique de cette charge d'un ion, ou d'un corps quelconque.

Aussi, la différence essentielle entre la théorie de Sir O. Lodge et la mienne apparaît déjà dans l'hypothèse fondamentale; la charge d'un atome ne constitue pas pour moi un électron, mais se trouve elle-même constituée par un nombre plus ou moins grand d'électrons suivant les dimensions de l'atome et les conditions dans lesquelles il se trouve. Pour moi, l'électron n'est pas une quantité d'un fluide spécial formant un quelque chose d'inconnu, qu'on appelle charge en même temps que molécule de l'électricité, mais un mode de mouvement spécial du vortex ou molécule de l'éther. Ce mode de mouvement se transmet seul d'un vortex au suivant, chaque vortex ne pouvant sortir de sa propre sphère d'action, même dans les cas où il y a transport ou projection de matière pondérable, cette dernière étant absolument passive ne fait que subir dans tous les phénomènes l'action incessante de l'éther. Bien que la constitution intime du vortex reste encore inconnue, mon électron n'étant qu'un mode de mouvement, j'ai pu l'établir comme élément de radiation, reconnaître la cause mécanique qui en fait l'élément électro-magnétique, ainsi que la disposition spéciale que les électrons prennent dans les charges statiques et dans les courants, et en déduire que la seule substance réelle qui entre en jeu dans tous les phénomènes est la matière unique dans son état primaire qu'on appelle éther, dont l'électron est la forme cinétique de la molécule et le vortex le noyau matériel.

Sir Lodge dit : *Toutes les lignes de force mécanique qui nous sont connues s'étendent d'atome à atome, elles ne se terminent jamais dans l'éther, sauf à la face antérieure d'une onde en progression. Mais ce dernier cas sort du domaine statique et par suite de notre sujet.* Or, ce dernier cas est précisément celui que j'ai pris comme point de départ de mon travail, car je le considère comme le phénomène général coexistant avec tous les autres phénomènes, comme le *substratum* perceptible ou caché, mais toujours actif dans toutes les manifestations de la nature, cette considération m'a amené à concevoir le phénomène radiant, avec ses innombrables modifications, comme un mécanisme primaire. Ce mécanisme doit donc être conçu et étudié avant les autres qui n'en sont nécessairement que des déformations plus ou moins stables.

La théorie de l'unité de la matière, telle qu'elle est aujourd'hui admise par plusieurs physiciens, est due en grande partie aux travaux de Sir William Crookes qui l'avait déjà établie dès 1888 [1].

Dans des conditions exceptionnellement spéciales, que nous ne pourrons peut-être jamais reconstituer expérimentalement, sous des pressions énormes, lors de la condensation d'une masse solaire centre d'un futur système planétaire, se sont formées les premières liaisons architecturales par des alignements de vortex en mouvement synchrone, déterminant par la perte successive des degrés de liberté les formes fixes qui ont constitué les atomes invariables des corps qu'on appelle simples ou éléments chimiques.

L'analyse spectrale a démontré que ces liaisons de vortex ne peuvent plus être modifiées par l'activité de l'éther libre, car ils ne subissent aucune scission et semblent résister à

---

[1] *Les théories modernes de la matière*. Discours de Sir William Crookes au Congrès de chimie appliquée en juin 1903, à Berlin. Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVII, p. XIV, 10 octobre 1903.

Digitized by Google

toutes les actions physiques ou chimiques qu'il nous est possible de produire. L'étude des corps radioactifs, découverts par M. Becquerel, M. et Mme Curie et M. Rutherford, que l'on poursuit partout, conduira probablement à la découverte de l'existence de liaisons instables ou incomplètes, permettant une projection continuelle des particules intégrantes des atomes de ces corps. Aussi les interprétations hypothétiques, déduites des résultats des expériences sur les décharges dans les gaz raréfiés, conduisant à admettre la production d'une fragmentation des atomes de corps simples, formant des ions négatifs, dont la dimension serait $\frac{1}{1000}$ de l'atome de l'hydrogène, pourront être éclaircies et complétées. En attendant l'on peut expliquer ces derniers phénomènes par le mouvement des électrons libres, sans les ions qui les transportent, et ma théorie permet d'établir l'inertie de l'électron, en la déduisant des forces vives particulaires du vortex qui le constitue. L'électron non seulement utilise l'inertie du vortex, mais ne pourrait exister sans elle. On doit donc attribuer aux vortex la masse qu'on a calculé pour les ions négatifs, mais elle sera réelle et non pas apparente, comme celle de l'électron qui n'est qu'un mode de mouvement.

Sir O. Lodge dit : « *C'est à ces charges isolées, constituant l'unité de charge ou la charge d'un atome qu'on a donné le nom d'* « *électrons* », *et quand on parle d'un électron, on entend par là cette charge électrique, isolée, jusqu'ici purement hypothétique, tandis que le terme* « *ion* » *désigne l'atome et sa charge réunis. Donc si les particules en mouvement qui constituent les rayons cathodiques sont des électrons plutôt que des ions, si ce sont des charges séparées (qui, après la séparation laissent probablement les atomes positivement chargés), leur mobilité extrême et leur grande vitesse sont parfaitement naturelles. On comprend que, sans être matérielles au sens ordinaire du mot, elles puissent avoir certaines des propriétés de la matière, celles du moins qui dérivent de l'inertie; puisque, comme on l'a vu, une charge électrique possède une certaine espèce d'inertie.* » Sir O. Lodge dit : « *sans être matérielles au sens ordinaire du mot* », or cette matérialité spéciale ne peut être expliquée que, si l'on donne à ces éléments de charge séparés, ou électrons, les vortex comme noyaux, c'est-à-dire si l'on fait de toute la charge un mode de mouvement de l'éther.

Cette conclusion on la déduit également des lignes suivantes : « *Il se peut donc que l'inertie électrique dépende en quelque sorte de la vitesse. La théorie indique, en effet, un accroissement de cette inertie aux très grandes vitesses, et M. Heaviside a calculé la valeur de cet accroissement.* » Si l'inertie électrique augmente avec la vitesse, il ne peut y avoir un fluide matériel dont la molécule soit de l'électricité, car dans ce cas l'inertie ne pourait varier qu'avec la masse matérielle de la molécule. Aussi l'électron n'est pas une molécule mais un élément cinétique.

Dans l'intéressante partie de sa conférence où est traitée la détermination de la vitesse et de l'équivalent électro-chimique des rayons catholiques, Sir O. Lodge fait observer que « *La longueur de la trajectoire libre et la puissance de pénétration des rayons cathodiques avaient fait deviner à Lenard et à Crookes que les particules dont ils sont formés n'étaient pas des atomes matériels ordinaires.* » Ici encore les mots « *n'étaient pas des atomes matériels ordinaires* » indiquent la conception de quelque chose d'une constitution différente de celle des atomes pondérables.

Sir O. Lodge examine ensuite la détermination de l'équivalent électro-chimique dans le cas des fuites d'électricité sous l'influence de la lumière ultraviolette. Après avoir décrit le phénomène découvert par Hertz, puis étudié par Wiedemann, Ebert, Hallwachs, Righi, Elster et Geitel et d'autres il conclut ainsi : « Deux choses sont nécessaires pour que les particules se détachent de la surface : elles doivent être désagrégées par l'afflux des

Digitized by Google

rayons ultraviolets, dont la direction de polarisation a une influence très marquée, et *la surface à laquelle elles adhèrent doit être négativement chargée, de façon à les repousser.* » C'est moi qui souligne cette dernière phrase, car par des expériences répétées, soit avec l'électroscope de Curie, soit avec celui à aspiration d'air d'Ebert, j'ai pu établir, en recevant les rayons ultraviolets sur un disque de zinc, récemment amalgamé du côté où il est frappé par ces rayons, qu'en le reliant au sol pendant cette action on ne constate aucune différence; en voici un exemple :

Electroscope de Curie chargé positivement :

Décharge moyenne du jour par minute	4 divisions.
» en présence du disque isolé.	44,2 »
» » » rélié au sol.	44,3 »

Les rayons ultraviolets utilisés sont ceux de la lumière diffuse entrant par la fenêtre ouverte, en fermant la fenêtre la décharge est encore de 15 divisions par minute et si on éloigne le disque amalgamé elle redevient de 4 divisions.

J'ai étudié ensuite les deux actions connues qui se produisent simultanément, actions que je pense pouvoir indiquer ainsi :

1. *Action directe.* — Les rayons ultraviolets frappant directement le disque de zinc, récemment amalgamé, produisent une déperdition rapide de son électrisation lorsqu'elle est négative, mais aucun effet lorsqu'elle est positive.

2. *Action secondaire.* — Le même disque électrisé négativement ou rendu neutre en le reliant au sol, frappé par les rayons ultraviolets, émet un rayonnement secondaire qui agit à distance et décharge rapidement un corps quelconque à électrisation positive, mais ne produit aucun effet si le corps est électrisé négativement, ou si le disque amalgamé porte une charge positive.

De ces deux actions produites en un sens par les rayons directs et en sens opposé par le rayonnement secondaire, je pense qu'on peut donner l'explication suivante :

Les lignes de force d'une charge positive étant divergentes, le potentiel *maximum* se trouve dans les couches les plus voisines de la surface du disque, les électrons de ces couches ont ainsi une tension suffisante pour empêcher la radiation ultraviolette de parvenir jusqu'à la surface amalgamée, l'action doit donc être nulle. C'est ce que l'expérience confirme en montrant qu'il n'y a, dans ce cas, ni action directe, ni action secondaire.

Les lignes de force d'un état électrique négatif sont convergentes et le potentiel diminue de plus en plus en s'approchant de la surface, aussi les électrons du champ à proximité de celle-ci n'ont plus la tension voulue pour arrêter la radiation ultra violette laquelle vient frapper la surface almagamée. Il se produit alors dans le milieu une polarisation moléculaire et conséquemment une orientation et des alignements de molécules dans les directions des lignes de force convergentes. Ces alignements moléculaires se prolongent suivant les lignes divergentes de la charge positive d'un corps placé à peu de distance et par ces chaînes de molécules la différence de potentiel s'annule rapidement par conduction [1], tandis que cette action ne peut pas se produire avec les corps dont l'électrisation est négative, car on a alors des lignes convergentes opposées aux premières.

Naturellement lorsque le disque est neutre, rien n'empêche l'action des rayons ultraviolets, et celle-ci se produit de la même manière que lorsque le disque est négatif. Le résultat doit donc être le même dans les deux cas, comme il est confirmé par l'expérience décrite plus haut.

[1] Th. Tommasina. *C. R.*, t. CXXVIII, p. 1092-1095; *L'Éclairage Électrique* du 20 mai 1899, t. XIX, p. 278.

Digitized by Google

D'après cette explication il devient évident que le rayonnement réfléchi ou secondaire doit agir sur un corps quelconque, tandis que l'action directe ne pourra avoir lieu que sur des miroirs métalliques récemment polis ou amalgamés.

Sir O. Lodge dit que les mesures faites par M. J. J. Thomson sur les projectiles positifs des *Kanal-Strahlen* de Goldstein ont confirmé les résultats obtenus par Wien, qui avait trouvé que pour ces rayons le rapport $\frac{e}{m}$ varie selon la substance avec laquelle il est mesuré, sa valeur étant toujours approximativement égale à la valeur fournie par l'électrolyse pour la substance considérée. Or si l'on prend note du fait, que Wien a obtenu ce résultat en mesurant la légère déviation magnétique à laquelle on peut soumettre ces rayons, je déduis des faits que je viens de décrire que ce que Wien a mesuré n'est pas la déviation magnétique de trajectoires de projectiles positifs, mais plus probablement celle de chaînes de molécules, formées suivant les lignes de force de propagation du flux positif, d'autant plus que la valeur obtenue est égale à celle qui est fournie par l'électrolyse. J'arrive maintenant à la partie du discours qui traite de la « *Théorie de la conduction et de la radiation dans l'hypothèse des électrons* », ici les citations deviendraient trop longues et trop nombreuses si je voulais transcrire tout ce qui est favorable à ma théorie. Sir O. Lodge cite l'opinion de Larmor, que les électrons en mouvement sont les seuls courants électriques qui existent; puis parlant de la conduction dans les liquides, il dit que : « *le mécanisme s'opère d'une façon analogue à celle d'un oiseau emportant une graine et ne la laissant tomber qu'en terrain favorable, c'est-à-dire sur une électrode.* » Or l'on sait que sur l'électrode c'est le ion qui est déposé, il est donc la graine, tandis que l'électron serait l'oiseau transporteur. C'est ce que ma théorie indique en disant que, « dans tous les phénomènes électromagnétiques, l'énergie réside toujours dans les modifications éthérées, tandis que les atomes pondérables ne sont qu'entrainés ou transportés ».

Au chapitre « *Radiation* » Sir O. Lodge semble abandonner la définition que l'électron est toute la charge d'un atome, car il dit : « *Ce sont en effet les vibrations ou révolutions des électrons dans un atome qui donnent naissance au pouvoir radiateur* » et, plus loin il ajoute encore : « *Un atome d'une substance quelconque, quand il est à l'état a peu près libre, émet une sorte particulière de radiation qui dépend de la vitesse de révolution de ses électrons, chaque fréquence de vibration correspondant à une ligne définie du spectre.* » La charge d'un atome est donc composée de plusieurs électrons, qui sont bien de second ordre si l'atome émet une radiation.

L'appui à ma théorie est encore plus évident dans la suite où est traité le phénomène de Zeemann, et dans le paragraphe intitulé : « *Théorie électrique de la matière* » où, l'on trouve cette conclusion : « *Il se peut très bien qu'il n'y ait aucune sorte d'inertie. Dans ce cas, ce que nous appelons l'inertie de la matière ordinaire serait simplement l'inertie électrostatique ou self-induction d'un nombre immense de charges ioniques ou d'atomes électriques ou d'electrons.* » L'inertie, dont il est parlé ici, ne pourrait absolument pas se manifester s'il n'y en avait pas une autre d'ordre plus élevé, laquelle est l'inertie due aux forces vives des particules matérielles intégrantes du vortex, particules qui sont les vrais atomes physiques, qui ont une masse réelle occupant un certain volume de l'espace, dont l'impénétrabilité n'est autre que l'inertie caractéristique de la matière.

Aussi, d'après les valeurs numériques qui sont données dans la suite, je peux en tirer que le diamètre de la sphère d'action du vortex, qui est égal à celui de l'électron, est de l'ordre de 10^{-13} cm, c'est-à-dire la cent millième partie de la dimension linéaire des molécules, 10^{-8} cm. Ensuite, comme un atome de mercure correspond à 100 000 électrons dans

Digitized by Google

une sphère de 10^{-8} cm de diamètre, le volume de l'atome est de 10^{-24} cm^3, et le volume total de tous les électrons qui le composent est de 10^{-34} cm^3, l'espace vide étant 10^{10} fois plus grand que l'espace occupé ; je dois en conclure que la sphère d'action du vortex dans laquelle il se déplace a un volume 10^{10} fois plus grand que celui qu'aurait le vortex, si toutes ses particules intégrantes étaient en contact entr'elles. Dans la justification de la théorie électrique de la matière, que Sir O. Lodge donne, tout se tient, mais à la condition que l'électron possède un vortex comme base réelle de son inertie, c'est-à-dire à la condition de prendre le vortex comme élément de masse matérielle, soit des électrons, soit des atomes pondérables.

Cette condition, qu'impose à l'électron un noyau matériel non pondérable, nécessaire dans les précédents chapitres qui traitent les deux importants sujets : « *Détermination de la masse d'un électron* » et « *Les noyaux électriques de condensation* », l'est également dans les derniers paragraphes sur les forces moléculaires, qui résument les autres conséquences de la théorie des électrons, spécialement pour l'explication des émissions radio-actives et de la radio-activité induite.

Dans celui intitulé « *Validité des anciennes idées* », Sir O. Lodge expose l'opinion que voici : « *Tous les champs d'un électron lui sont extérieurs, or son énergie réside dans ses champs; elle se transporte donc, quand il se meut, dans l'espace circonvoisin, car, dans cet espace, l'éther est soumis à un champ électrique et à un champ magnétique coexistants. L'inertie de l'électron réside donc aussi dans l'espace qui l'entoure, puisqu'elle s'explique par la force électromotrice qui prend naissance quand le champ magnétique varie, c'est-à-dire quand le mouvement de l'électron s'accélère.* » Or l'éther qui remplit l'espace étant parcouru incessamment dans tous les sens par des radiations électromagnétiques, autour de chaque électron il ne peut y avoir autre chose que des électrons, avec lesquels les champs extérieurs à chaque électron sont explicables, sans lesquels ils ne le sont plus du tout, de même que la force électromotrice et la self-induction.

Quelques lignes plus bas il est dit : « *Ce qui met en mouvement les électrons, c'est une action latérale se propageant à travers l'éther, et non une poussée longitudinale.* » Sir O. Lodge admet donc qu'il y a quelque chose qui met en mouvement les électrons, mais les mettre en mouvement signifie les produire. En outre, ce qui n'est pas sûr et que je crois contraire aux faits, c'est l'affirmation qu'il n'y a pas de poussée longitudinale ; il semble plus probable que, dans les modifications de la tension électrostatique, et dans les radiations électromagnétiques, les deux actions se produisent simultanément, bien que la latérale soit prédominante dans la convection électrique et dans les courants et que la longitudinale le soit dans les radiations.

Si l'on considère le vortex comme quelque chose de semblable à une nébuleuse astrale possédant un mouvement tourbillonnaire dans toute sa masse, on comprend la nature cinétique de son élasticité qui lui permet de transmettre l'énergie et de former ainsi des tubes de force.

Dans la conclusion de sa conférence Sir O. Lodge disait : « *Il est trop tôt encore pour émettre une opinion sur la nature de l'électron, considéré comme phénomène. On ne voit pas pourquoi les électrons positifs s'aggloméreraient avec tant de ténacité, tandis qu'un électron négatif en surplus pourrait se détacher facilement et se déplacer seul. La nature de la gravitation n'est pas non plus connue encore. Quand la théorie électronique aura été poussée jusqu'aux petites quantités de second ordre, on peut espérer que la propriété de la gravitation entrera en ligne de compte et en formera une partie ; jusqu'ici c'est un fait d'expérience que nous observons sans le comprendre.* »

***

Digitized by Google

La ténacité des charges positives que l'on constate en effet pourrait être expliquée de la manière suivante :

Dans les charges positives, comme l'on sait, le potentiel est plus élevé dans les couches les plus voisines de la surface de l'atome électrisé, ou ion positif, ce qui indique que dans la charge positive il y a condensation d'électrons aux limites mêmes de la surface de l'atome ; celui-ci se trouve, pour ainsi dire, comme un paquet étroitement ficelé, il est le noyau d'une pelote. Il faut donc défaire la pelote en commençant par le bout extérieur du fil si l'on veut libérer le noyau, ce qui revient à dire qu'il faut enlever à l'atome toute sa charge par conduction.

Dans l'électrisation négative le potentiel est plus bas dans les couches voisines de la surface, le phénomène se présente alors, comme si les premières rangées de fil avaient été entortillées sans être tendues, de façon que le noyau se trouve presque libre dans l'intérieur de la pelote, l'on sait que dans ce cas la pelote peut facilement se déformer et perdre son noyau. Cette pelote sans noyau, identique à la première, mais dont la tension du fil augmente en sens opposé, me semble donner une image de la charge négative, image qui met bien en évidence la nature de la différence entre les deux électrisations et montre en même temps leur identité cinétique.

Les deux électrisations ne sont en définitive que les deux bouts ou les deux faces du même phénomène. Cette explication conduit ainsi à la confirmation de l'hypothèse de Faraday que tout se passe dans le diélectrique, c'est-à-dire dans le milieu, car les deux extrémités sont précisément celles du milieu.

En résumant l'on voit que Sir O. Lodge admet trois entités différentes, l'éther, l'électron négatif et la charge positive. En outre sa conférence tendait à démontrer que l'inertie de la matière est l'inertie électrique, et que les atomes chimiques sont constitués de groupements variés d'électrons positifs et négatifs, et il avance même l'opinion que l'électron positif n'est autre chose que le reste de l'atome auquel on a enlevé les électrons négatifs. Or toutes ces notions conduisent nécessairement à reconnaître l'unité de la matière, ce que Sir O. Lodge admet en déclarant que « *le problème de l'unification de la matière est théoriquement résolu* », mais si l'unité de la matière est établie, d'après ses conclusions mêmes, tout ce qui existe, sauf l'éther, n'est constitué que par des groupements d'électrons, il n'y a donc que cette exception à éliminer pour réunir nos deux théories. Il suffit de reconnaître que l'éther aussi n'est constitué que d'électrons, mais en donnant aux électrons les vortex comme noyau.

C'est pour démontrer que cela est nécessaire que je résumerai dans la deuxième partie les notions sur lesquelles une théorie cinétique générale pourra s'établir et résoudre le problème de la corrélation des forces physiques.

Thomas TOMMASINA.

Digitized by Google

RAYONS CATHODIQUES A FAIBLE VITESSE

LEUR ÉTUDE A L'AIDE DE LA PHOSPHORESCENCE. ÉMISSION SECONDAIRE DE RAYONS CATHODIQUES (¹)

Les rayons ultraviolets donnent naissance, quand ils rencontrent les corps solides, à des rayons cathodiques qui se distinguent des rayons cathodiques ordinaires par leur vitesse extrêmement réduite. Par suite, ils sont beaucoup plus sensibles à l'action des forces extérieures.

Méthode expérimentale. — Lenard étudie la marche de ces rayons à l'aide de la phosphorescence qui permet de suivre aisément leur trajectoire. Les substances phosphorescentes sont sensibles seulement à l'action de l'électricité en mouvement, non à celle des atomes ou molécules matérielles chargées : il devient ainsi possible de séparer les deux phénomènes.

Il y a lieu en effet de distinguer l'éther et la matière : les groupes d'atomes ou les atomes qui sont chargés recevront le nom de véhicules : les particules d'éther seront les charges élémentaires (*Elementarquanten*).

Appareil. — L'électrode U (fig. 1) enfermée dans le tube reçoit les rayons ultraviolets par une tubulure latérale que ferme un obturateur de quartz Q; le diaphragme BB et l'ouverture *bb* limitent le faisceau qui provient d'un arc à pôles zinc-charbon. Vis-à-vis de U, est disposée parallèlement à cette électrode une toile métallique fine E (mailles de 1 mm², en fil de 0,24 mm de diamètre). Cette toile, en communication avec le sol, est maintenue toujours au même potentiel. Il en est de même de la gaine métallique HH, qui recouvre toute la surface intérieure du tube. Cette gaine est en partie formée par une toile métallique qui permet d'observer l'écran phosphorescent Φ. Cet écran est formé d'une feuille de métal recouverte de la substance phosphorescente : on a pris soin que le ciment employé pour la fixer se trouve seulement sur les bords. Ce ciment est du silicate de sodium qui ne donne pas de vapeurs dans le vide et conserve une conductibilité suffisante pour qu'aucune charge électrique ne subsiste sur l'écran. En face de Φ, se trouve une toile métallique ε, qui est toujours maintenue au potentiel du sol. La distance UΦ varie, mais la distance εΦ est constante.

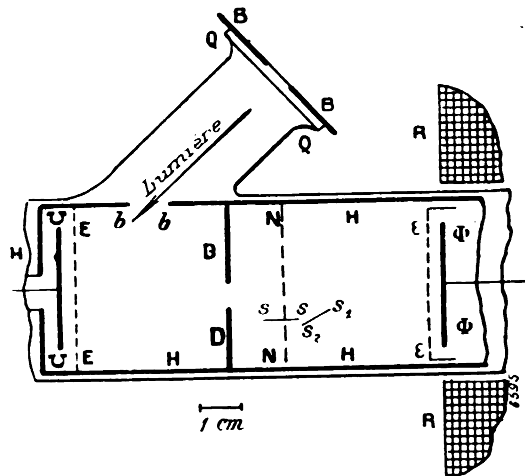


Fig. 1.

En chargeant U ou Φ, on peut établir entre U et E ou entre ε et Φ un champ électrique; suivant son signe, ce champ accélère ou retarde les rayons qui traversent l'intervalle. Dans l'espace compris entre E et ε, ils ne subissent aucune action des forces électriques.

Influence des vitesses. — Comme mesure des vitesses, on prend les potentiels (*loc. cit.*, p. 159).

(¹) D'après P. Lenard (*Drude's Annalen*, t. XII, p. 449-491). Ces recherches forment la suite de celles qui ont été résumées dans un article précédent. Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIII, p. 155, novembre 1902.

Digitized by Google

Parmi les charges élémentaires qui partent de U, une infime partie ont une vitesse supérieure à 2 volts et la plupart une vitesse voisine de o.

Par suite, on peut en général admettre que la vitesse initiale est nulle. En désignant par U le potentiel de U, par Φ celui de Φ (le potentiel du sol étant o), la vitesse des rayons dans l'intervalle Eε sera U ; la vitesse avec laquelle ils arriveront sur l'écran sera U + Φ.

Dans les premières expériences, l'espace entre E et ε est entièrement libre ; par suite les rayons ultraviolets réfléchis par U arrivent à l'écran qui s'illumine d'une luminescence pâle. Mais quand le potentiel U dépasse 1 000 volts, la tache phosphorescente provoquée par les rayons cathodiques est très brillante et se détache sur le fond. Même sans diaphragme, les bords de la tache sont déjà assez nets, parce que la vitesse initiale est très faible vis-à-vis de l'accélération communiquée aux rayons.

Au-dessous de U = 500 volts, la tache n'est plus immédiatement visible : mais on arrive à la rendre visible, même pour les rayons les plus lents, en chargeant Φ. Ainsi en portant Φ au potentiel de 4 000 volts, la tache devient apparente même pour U = H volts et $d = E\Phi = 14$ cm. Pour U = o, on ne peut suivre la marche des rayons que jusqu'à $d = 8$ cm, ce qui tient d'une part à la diffusion, d'autre part à l'action du champ magnétique terrestre.

Action du champ magnétique. — La déviation de la tache provoquée par un champ magnétique est de l'ordre de grandeur que l'on prévoit pour les rayons cathodiques. La charge de Φ ne produit aucun changement dans cette déviation, sauf quand les rayons sont très lents (au-dessous de 100 volts). La toile métallique ε forme donc un écran électrique suffisant.

Intensité de la phosphorescence. — Si on introduit le diaphragme D, on élimine une grande partie des rayons ultraviolets qui tombaient sur l'écran et par suite l'observation est plus aisée. La tache est plus nettement délimitée et son diamètre ne dépend plus du potentiel U, tant que celui-ci reste supérieur à 1 000 volts ; au-dessous de cette limite, elle grandit un peu et ses bords deviennent flous.

L'éclat de la tache dépend des potentiels U et Φ. Si la vitesse U + Φ avec laquelle les rayons arrivent sur l'écran, est maintenue invariable, à 4 000 volts par exemple, l'éclat reste très grand et à peu près le même quand U diminue de 4 000 à 1 000 volts; au-dessous, l'éclat diminue. Pour U = 50 volts, la tache est encore assez brillante ; à 6 volts, elle est très pâle et à o volt, elle disparaît.

Trajectoire des rayons dans le champ magnétique. — Dans le champ magnétique d'une bobine dont l'axe coïncide avec celui du tube, les rayons se concentrent sur l'axe et, par suite, passent en plus grand nombre à travers le diaphragme. Aussi en chargeant l'écran Φ à 4 000 volts, on obtient sur cet écran une tache encore très brillante même quand le potentiel U est réduit à 2 volts. Les rayons forment les lignes géodésiques d'un cône dont le sommet est le point de concours des lignes de force magnétique.

Des rayons dont la vitesse initiale est 1 volt, s'il n'existe aucun champ accélérateur, se concentrent à une faible distance de leur point d'émission en un étroit faisceau sur l'axe de la bobine. Mais une partie seulement des charges élémentaires arrivent jusqu'à l'écran Φ ; tout ce qui a été émis dans une direction oblique est ramené vers l'électrode U. Un champ accélérateur diminue beaucoup le nombre de ces charges, en retour : quand l'intensité de ce champ atteint 100 volts, toutes les charges atteignent l'écran. En même temps apparaissent sur le rayon des nœuds et des ventres qu'on peut déceler en déplaçant soit l'écran, soit la bobine.

Un faisceau oblique par rapport au champ magnétique se propage suivant une hélice.

Digitized by Google

On le vérifie en faisant agir simultanément le champ magnétique et le champ électrique créé par la plaque de métal *ss* isolée dans le tube et maintenue à un potentiel convenable (— 4 000 volts). La tache prend la forme d'un arc de cercle qui se déplace sur la circonférence quand on fait glisser la bobine magnétisante le long du tube.

Même quand U est porté à un potentiel positif de manière à produire un champ retardateur, on parvient encore à observer la tache phosphorescente en concentrant les rayons au moyen de la bobine magnétisante et créant entre ε et Φ un champ accélérateur. Si le potentiel de Φ est + 4 000 volts, la tache ne disparaît que si U = + 2 000 : ce résultat paraît inconciliable avec la faible vitesse initiale des rayons. Mais on l'explique aisément en remarquant que la toile métallique E reçoit une fraction notable des rayons ultraviolets et émet des rayons cathodiques de faible vitesse : il suffit de charger la plaque *ss* à 4 volts pour éliminer ces rayons et supprimer la phosphorescence.

Quand le potentiel de U est négatif, ces rayons ne peuvent produire de perturbations, d'abord parce qu'ils ne sont pas concentrés comme les rayons de U et ensuite parce que la fraction du champ qui traverse la toile E force les rayons à rebrousser chemin.

Extinction de la vitesse des rayons. — La vitesse des rayons cathodiques peut être annulée par un champ retardateur d'une intensité suffisante : aucun phénomène nouveau n'apparaît sur l'écran. De l'intensité du champ qui est nécessaire pour produire ce résultat, on conclut que la plus grande vitesse initiale qui se rencontre avec une fréquence notable est d'environ 1,76 volt; ce nombre est en accord satisfaisant avec celui qu'on déduit des expériences électrométriques.

Une toile métallique NN, placée normalement aux rayons est portée au potentiel — N. Si V est la vitesse initiale, U le potentiel de U, aucun rayon ne doit traverser NN quand $N \geqslant U + V$; c'est ce qui arrive.

Transparence des corps solides. — Les corps solides sont très peu transparents pour les rayons cathodiques de faible vitesse. Les rayons sont d'autant plus absorbés qu'ils sont plus déviés par le champ magnétique.

Intensité de la phosphorescence. — On évalue l'intensité de la phosphorescence produite par les rayons cathodiques au moyen d'un photomètre. On prend comme point de comparaison le fond de l'écran excité par les rayons réfléchis ; ce procédé affranchit la mesure des variations d'intensité de l'arc.

Pour réaliser l'égalité d'éclat entre la tache et le fond de l'écran, on fait varier dans un rapport connu, séparément ou simultanément, l'éclat du fond, la vitesse des rayons et la densité de ceux-ci.

L'intensité de la phosphorescence est proportionnelle à l'intensité des rayons. En effet l'égalité d'éclat établie entre le fond et la tache subsiste quand on fait varier la distance de l'arc zinc-charbon à l'électrode U. Elle subsiste encore quand on réduit l'intensité des rayons tombant sur U, à l'aide de secteurs tournants. On peut faire varier la densité des rayons cathodiques en interposant sur leur trajet des secteurs tournants en mica.

L'ensemble des mesures montre que l'intensité de la phosphorescence est proportionnelle, quand la densité des rayons reste la même, à la vitesse v de ces rayons diminuée d'une constante v_0 :

$$H = \frac{1}{c} Q (v - v_0),$$

Q est la densité des rayons, $\frac{1}{c}$ la constante d'intensité, v_0 la vitesse limite pour le corps

Digitized by Google

considéré. Pour la dissolution solide

$$(CaS, Bi, S_2O_3Na_2), \quad \frac{1}{c} = \frac{1}{188}, \quad v_0 = 300 \text{ volts.}$$

Quand la vitesse est inférieure à v_0, l'équation ci-dessus n'a plus de sens. Le phénomène change d'allure. L'écran, d'abord obscur, s'illumine progressivement : l'éclat de la tache augmente jusqu'à une valeur maxima qui reste ensuite invariable. Ce maximum reste très faible d'ailleurs vis-à-vis de l'éclat que prend la tache lorsque v est $> v_0$. La phosphorescence résiduelle est aussi courte que dans ce dernier cas.

Pour déterminer la vitesse limite v_0, on fait varier U et Φ, pour trouver la vitesse la plus faible qui, avec une grande densité des rayons, fait apparaître, sans retard appréciable, la tache phosphorescente. Ou encore on cherche la valeur v_0 qui rend le produit Q $(v - v_0)$ constant.

Energie des rayons employés à produire la phosphorescence. — Si Q est la quantité totale d'énergie apportée par les rayons à l'écran, la fraction H de cette énergie qui est transformée en radiations lumineuses est, par centimètre carré :

$$H = 3\,900 \frac{Q}{c} (v - v_0)$$

(exprimée en unités Hefner). Quand v_0 est petit, on peut admettre que toute l'énergie $v\varphi$ est transformée en lumière. Le rendement est alors $\frac{3\,900}{c}$ ou en chiffres ronds $10 \frac{\text{hefner}}{\text{cm}^2}$ par watt, pour les corps les plus phosphorescents. Or, dans la lampe à incandescence, ce rendement ne dépasse pas $0{,}3 \frac{\text{hefner}}{\text{cm}^2}$ par watt. Cette grande différence indique que la répartition de l'énergie n'est pas du tout la même dans le spectre des deux sources.

Quand les rayons sont très intenses, le rendement lumineux devient inférieur à ce qu'indique l'équation, parce qu'une portion notable de l'énergie est employée à élever la température.

Emission secondaire des rayons cathodiques dans le gaz. — D'après les expériences de Mac Lennan, la conductibilité maxima que les rayons cathodiques communiquent à un gaz est proportionnelle à la densité et indépendante de la nature du gaz. La conductibilité, d'après les théories courantes, donne une mesure du nombre des véhicules positifs et négatifs créés dans le gaz. On serait ainsi tenté d'établir une relation entre la production de ces véhicules et l'absorption des rayons. Il est pourtant difficile d'admettre que les véhicules proviennent des molécules qui ont fixé les charges élémentaires transportées par les rayons ; car, très souvent, le nombre des véhicules est de beaucoup supérieur à celui des charges élémentaires absorbées.

Il faut admettre que les charges élémentaires sont capables de parcourir des trajets assez longs : par suite qu'elles peuvent traverser nombre de molécules d'air sans que leur trajectoire prenne une courbure sensible.

Les véhicules prennent naissance dans les gaz monoatomiques comme l'argon : leur formation ne peut donc consister dans une dissociation des molécules neutres, mais plutôt dans une séparation entre l'atome et sa charge.

On peut imaginer que le phénomène se passe en deux phases. Les charges élémentaires en traversant la molécule, en chassent d'autres charges élémentaires, ces charges sont ensuite absorbées par le gaz.

Propagation des rayons secondaires. — Derrière le diaphragme D, on dispose la plaque

Digitized by Google

$s_1 s_2$, de manière que son arête s_1 se trouve sur un diamètre du tube. Cette plaque porte ombre sur une moitié de l'écran, qui protégée contre les rayons réfléchis et les rayons cathodiques primaires reste obscure, tant que l'écran n'est pas chargé. Quand on charge l'écran, elle s'illumine d'une phosphorescence pâle. Cette phosphorescence n'est pas due à des rayons primaires diffus, car elle se produirait quand Φ n'est pas chargé. D'autre part elle augmente avec la vitesse des rayons primaires, tandis que la portion diffuse de ces rayons diminue. Le rayonnement provoquant cette phosphorescence est beaucoup plus déviable par le champ magnétique que le rayonnement primaire.

Par suite de l'absorption, il doit exister des véhicules négatifs dans le gaz. Si ces véhicules étaient des molécules emportant une ou plusieurs charges élémentaires, ils seraient moins sensibles que les rayons rapides à l'action du champ magnétique quand on fait agir en même temps le champ électrique et le champ magnétique. Or, dans la région où ils rencontrent l'écran celui-ci reste obscur. Les véhicules n'excitent donc pas la phosphorescence.

Pour les faibles vitesses des rayons primaires, la phosphorescence est moins brillante, parce que ces rayons sont absorbés davantage.

Même dans le vide extrême, on observe une phosphorescence due à des rayons plus déviables que les rayons primaires, c'est sans aucun doute le rayonnement secondaire des vapeurs résiduelles qui provoque ce phénomène.

En disposant au voisinage du faisceau primaire une petite plaque électrisée, on réussit à séparer les rayons primaires et secondaires. Si cette plaque est phosphorescente, elle s'illumine dès que son potentiel dépasse la vitesse limite v_0.

Degré de trouble du gaz pour les rayons lents. — Pour se faire une idée du degré de trouble du gaz pour les rayons lents, on remplace le diaphragme $s_1 s_2$ par un autre percé d'une ouverture étroite, 2,5 mm. On sépare les rayons ultraviolets réfléchis des rayons cathodiques à l'aide du champ magnétique. De U = 4 000 à U = 2 000 volts, la tache primaire est à bords nets et présente, du côté de la déviation, une queue moins brillante, qu'il faut attribuer aux rayons secondaires.

A mesure que U diminue, les rayons secondaires diminuent d'intensité, tandis que les rayons primaires diffus augmentent.

Au-dessous de U = 1 000 volts, les bords deviennent flous, même du côté le moins dévié : puis apparaît une auréole concentrique à la tache, en même temps que la queue s'efface de plus en plus. Avec U = 100 volts, l'auréole reste seule. Il faut alors porter Φ à 4 000 volts pour que la tache et l'auréole soient visibles.

Dans le vide extrême, l'auréole n'apparaît pas et la tache garde toujours son développement complet.

On peut encore se rendre compte de la diffusion en concentrant les rayons à l'aide d'une bobine magnétisante, d'après le plus ou moins de netteté des nœuds qui se forment alors sur l'axe de la bobine.

Les rayons d'une vitesse supérieure à 100 volts ne se diffusent pas d'une manière sensible dans l'air à la pression de 0,04 à 0,01 mm sur un trajet de 3 cm. Au-dessous de cette vitesse, ils se diffusent d'autant plus que la vitesse est plus faible.

L'hydrogène n'est pas plus transparent, l'argon ne l'est pas moins que l'air à la même pression, c'est donc le nombre des molécules qui définit le degré de trouble du gaz vis-à-vis des rayons lents et non pas la masse comme dans le cas des rayons rapides.

Intensité du rayonnement secondaire : pouvoir absorbant du gaz. — On supprime le diaphragme D et on rend plus large l'ouverture *bb* pour les rayons ultraviolets. Ceux-ci

Digitized by Google

couvrent sur U une région de 10 cm de diamètre, d'où part un faisceau cathodique de même diamètre. L'écran Φ est formé de deux moitiés nettement séparées, recouvertes l'une de la dissolution solide ($CaS, BiNa^2S^2O^3$) additionnée d'un peu de charbon, l'autre de CO^3Ba, non phosphorescent. Un écran de toile métallique plus serrée que celle de l'écran ε est disposé en avant de celui-ci, pour restreindre la partie du champ Φ qui pénètre à travers ε.

Si l'écran ne recevait que la lumière réfléchie par U, la moitié renfermant du charbon serait moins brillante, mais les rayons cathodiques la rendent phosphorescente et augmentent son éclat. Pour une certaine valeur de Q $(v - v_0)$, il y aura égalité d'éclat entre les deux moitiés : ce qui permet de mesurer Q.

La densité Q des rayons qui atteignent l'écran n'est pas identique à la densité Q des rayons qui partent de l'électrode U. Cette densité se modifie sur le trajet UE par l'addition du rayonnement secondaire, de U en Φ par l'absorption et la diffusion, de ε en Φ encore par l'addition des rayons secondaires.

Pour séparer la part de l'absorption et celle des rayons secondaires, il faut combiner quatre expériences, deux dans le vide extrême, deux dans le gaz, avec deux distances U Φ différentes.

Les coefficients d'absorption sont environ 100 fois plus grands pour les rayons dont la vitesse est de 1 000 à 4 000 volts que pour ceux dont la vitesse est de 25 000. Pour les rayons dont la vitesse est 1 000 volts, l'air, sous la pression de 1 mm, a un coefficient d'absorption 2,8 fois plus grand que celui de l'air libre pour les rayons sortant de la fenêtre d'aluminium. Ces conditions sont à peu près celles qui règnent au voisinage de la cathode dans un tube de Geissler. Les dimensions de la lueur négative s'accordent avec l'hypothèse que cette lueur est due à la luminescence provoquée par les rayons cathodiques.

Le rapport entre la diffusion et l'absorption est le même pour les rayons rapides et les rayons lents. Le nombre des charges élémentaires mises en mouvement sous forme de rayons secondaires par une charge élémentaire dans l'espace UE est très grand relativement.

Si ces charges proviennent d'une molécule d'air traversée, le résidu serait un véhicule positif portant plusieurs charges élémentaires. Or, jamais on n'a observé de pareils véhicules, car la masse des véhicules positifs est toujours grande en rapport de leur charge. Il faudrait admettre plutôt que ces véhicules deviennent à leur tour des centres d'émission pour les charges négatives.

En mesurant l'intensité du courant par le galvanomètre, on peut vérifier s'il se produit encore des véhicules par une dissociation des molécules en particules chargées, positives et négatives, comme dans l'électrolyse. Les résultats montrent que pareille dissociation n'a pas lieu.

Les rayons dont la vitesse est inférieure à 11 volts, ne provoquent pas d'émission secondaire en quantité appréciable. Au-dessus de cette vitesse, la quantité de charges élémentaires émises croît brusquement et devient à peu près proportionnelle à $(v - 11)$. Elle doit devenir ensuite moins rapide, car entre 100 et 2 000 volts, elle est de nouveau très faible. A 10 000 volts, les charges élémentaires provoqueraient l'émission secondaire seulement dans les $\frac{1}{5}$ molécules qu'elles traversent (Durack). Le maximum d'émission répondrait aux vitesses de 2 000 volts environ.

Il n'y a pas de raison pour que l'émission secondaire soit limitée aux gaz. D'après Austin et Starke, elle se produit aussi sur les métaux polis.

Digitized by Google

On peut se demander encore si les véhicules matériels provoquent l'émission secondaire. C'est à cette question que paraissent se rapporter les expériences de Townsend.

Il est à remarquer que l'activité photoélectrique du noir de fumée se modifie au cours des expériences. Après une série d'expériences assez longues, on trouve sur l'électrode noircie U une image de la toile métallique E, sur laquelle les fils se détachent en sombre. Peut-être faut-il rapprocher ce phénomène de la pulvérisation des corps dans les rayons ultraviolets.

M. L.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉGRAPHIE ET TÉLÉPHONIE

Sur un nouveau procédé permettant d'accorder les stations de télégraphie sans fil à l'aide du multiplicateur[1], par l'ingénieur comte **Arco**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 6 et suiv., 1er janvier 1903.

1. Importance de la résonance. — Tous les spécialistes reconnaissent aujourd'hui que le point le plus important dans le développement de la télégraphie sans fil est l'emploi judicieux des lois de la résonance électrique. Les dispositifs de télégraphie sans fil comportent toujours plusieurs circuits vibrants, ouverts ou fermés, en relation directe ou indirecte les uns avec les autres, et qui, tous, doivent satisfaire le mieux possible aux conditions de résonance.

L'auteur décrit d'abord brièvement les systèmes à vibrations principales qui doivent être mis en résonance.

Dans la figure 1, I représente schématiquement le transmetteur, II le récepteur. Ils consistent tous deux en un conducteur aérien rectiligne, réuni à la terre à sa partie inférieure. Ces conducteurs sont mis en état de vibration électrique, le transmetteur par un circuit excitateur E, le récepteur par les actions à distance provenant du transmetteur. Des bobines, formées de quelques spires seulement, servent à coupler : l'antenne d'émission avec l'excitateur, l'antenne de réception avec l'indicateur d'ondes J. Les deux conducteurs vibrent en 1/4 d'onde ou en un multiple impair de 1/4 d'onde, pendant que l'image de chaque système vibrant se reproduit, soit dans la terre, soit dans un fil de prolongement formant contrepoids électrique.

L'excitateur E comprend : des condensateurs à haute tension emmagasinant l'énergie, l'étincelle et une petite self-induction. A la décharge des condensateurs par l'étincelle, des oscillations se produisent dans le circuit et leur période propre dépend seulement de la capacité des condensateurs et de la self-induction du circuit.

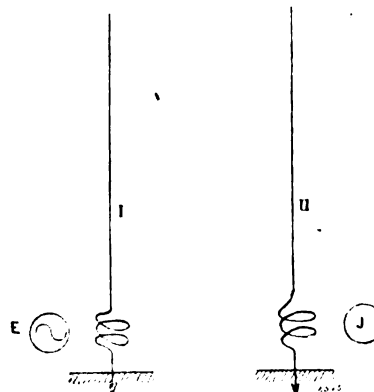


Fig. 1.

Au récepteur, le circuit indicateur est également formé de capacité et de self-induction; seulement, il y a ici plus de self-induction et moins de capacité qu'au transmetteur.

La résonance doit être établie :

1° Entre le circuit excitateur et l'antenne

(1) Voir sur le rôle du multiplicateur : Notes sur la télégraphie sans fil en Allemagne. *L'Éclairage Électrique*, t. XXX, p. 121 et 167, 25 janvier et 1er février 1902. — Les bases scientifiques de la télégraphie sans fil, par Slaby, *Id.*, t. XXXI, p. 437 et 459, 7 et 28 juin 1902. — Sur le rôle du multiplicateur, par Georges Seibt, *Id.*, t. XXX, p. 126, 25 janvier 1902.

Digitized by Google

d'émission (accord du transmetteur en soi-même).

2° Entre les vibrations propres des antennes d'émission et de réception.

3° Entre les vibrations propres de l'antenne réceptrice et le circuit indicateur (accord du récepteur en soi-même).

2. Méthodes d'accord utilisées précédemment. — Les méthodes pratiques permettant d'obtenir la résonance entre les vibrations des systèmes simples ont été jusqu'à présent les suivantes :

a. *Résonance au transmetteur.* — L'accord du circuit excitateur avec l'antenne d'émission se détermine en intercalant dans cette dernière un ampèremètre thermique (0,1 à 0,5 amp), shunté par une self-induction variable, et placé à l'endroit d'un ventre de courant. La période de l'excitateur est modifiée jusqu'à ce que l'ampèremètre accuse un maximum de courant.

La détermination de la résonance par le courant maximum est préférable, pratiquement, à celle qui résulte de la mesure d'étincelles : le ventre de courant est toujours accessible, tandis que le ventre de tension ne l'est presque jamais ; de plus, la mesure des étincelles se rapporte seulement à la quantité d'énergie transmise à l'antenne d'émission, tandis que le courant maximum donne une mesure de l'énergie rayonnée, qui seule est à considérer pour les actions à distance [1].

b. et c. *Résonance de l'antenne réceptrice et du récepteur en soi-même.* — On eut de plus grandes difficultés, jusqu'à présent, pour réaliser l'accord du récepteur sur le transmetteur, et l'accord du récepteur en soi-même.

Un exemple pratique le fait comprendre :

Une station côtière, déjà en service, est accordée sur plusieurs stations de bateaux. On veut installer, à bord d'autres bateaux, de nouvelles stations accordées sur la première. Jusqu'à présent, on ne pouvait réaliser l'accord des nouveaux appareils que par des essais à distance, par des tâtonnements en approchant de la station côtière ; et naturellement, comme ces essais sont longs, peu précis et que les bateaux ont peu de temps à y consacrer, il en résultait qu'un accord soigneux ne pouvait être obtenu que très rarement et seulement au prix de grandes difficultés.

Aussi, la découverte d'une méthode pour la prédétermination de l'œuvre de réception doit-elle constituer un progrès pratique très important.

3. Nouvelle méthode d'accord. — Les expériences primitives de 1901 font saisir rapidement la caractéristique de la nouvelle méthode. Un seul et même signe fut envoyé d'une façon permanente par un transmetteur unique à trois

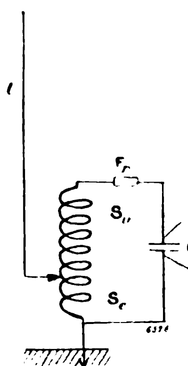


Fig. 2.

stations réceptrices reliées à des antennes de longueurs très différentes. La grandeur de la bobine d'accord fut déterminée par l'expérience aussi exactement que possible. Le montage du récepteur employé est représenté en figure 2. Le système indicateur est branché en dérivation sur le conducteur aérien. Dans la figure 2 et les suivantes, l désigne l'antenne, S_v la partie de la bobine en dérivation sur l'antenne, S_e la partie de la bobine qui se trouve sur le trajet direct de l'antenne à la terre, F_r le fritter [1], E la terre, C un condensateur.

L'expérience montra que, pour les trois stations réceptrices avec longueurs d'antennes très différentes, les grandeurs des bobines S_v et S_e variaient chacune dans le cas de la résonance, et cela de façon que, pour l'antenne la plus courte, S_v avait sa valeur la plus grande ; mais *la somme* $S_v + S_e$ *restait toujours constante.* Comme les bobines sont en série avec le fritter et le conducteur C, et qu'à l'établissement de la

(1) Voir Slaby : Bases scientifiques de la télégraphie sans fil. *Écl. Élec.*, loc. cit.

(1) Dans cette analyse, l'expression « fritter », usitée en Allemagne, est employée, simple ou en composition, pour désigner le cohéreur.

Digitized by Google

résonance, les trois circuits indicateurs étaient évidemment accordés sur le même nombre de vibrations, celui du transmetteur commun, il s'ensuit que la charge de la bobine, résultant de la combinaison montée en série : fritter et condensateur C, était une constante. La capacité de C est d'environ 0,01 microfarad; et, comme au transmetteur, le produit self-induction $\times$ capacité était environ 1 000 fois plus petit que $(S_v + S_e) \times C$, il s'ensuit que ce n'est pas la capacité de C qui pouvait causer cet accord de réception; mais que :

1° Le fritter, tant que sa résistance ohmique est infiniment grande, forme un condensateur;

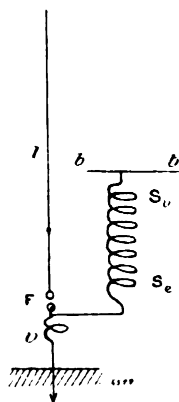


Fig. 3.

2° La capacité de ce conducteur est très petite, si bien que dans le montage des deux en série, celle du condensateur C peut être considérée comme infiniment grande par rapport à celle du fritter;

Et enfin 3° la capacité du fritter seule, en liaison avec la self-induction de S_v et S_e, cause l'accord du circuit indicateur.

Pour mesurer maintenant cette capacité du fritter, l'auteur employa le procédé suivant :

Au transmetteur employé dans les expériences précédentes, fut reliée la bobine $S_v + S_e$ trouvée pour les trois récepteurs (fig. 3). L'extrémité supérieure de la bobine était chargée avec la capacité d'un fil tendu b — b, dont on faisait varier la longueur jusqu'à ce que la bobine, agissant comme multiplicateur, montrât par des jaillissements d'étincelles qu'elle était en résonance avec le transmetteur. La capacité du fil b devait être la même que celle du fritter. On suppose seulement, pour tirer cette conclusion, que la self-induction du fil tendu est négligeable devant celle de la bobine $S_v + S_e$, ce qui paraît tout à fait admissible.

La capacité du fil se déduisait des données suivantes :

Longueur b-b	350 cm
Diamètre	1 mm
Distance du fil à la terre, environ .	100 cm

Cette méthode a un inconvénient, c'est que ce voisinage de la terre et celui d'autres conducteurs mis à la terre donnent souvent, notamment sur les bateaux, des valeurs assez variables et incertaines. Aussi, par la suite, la capacité du fil tendu fut-elle condensée dans un condensateur à plaques de verre dont les dimensions étaient à peu près les suivantes :

Surface	14 cm²
Distance des plaques	0,5 cm
Constante diélectrique du verre, environ	7

Pour abréger, l'auteur nomme ces condensateurs ainsi installés : « fritters-condensateurs », et leur capacité électrique : « fritter-capacité ».

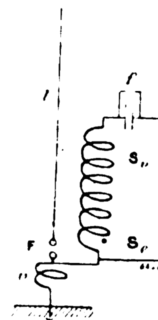


Fig. 4.

La figure 4 montre le mode de montage des fritters-condensateurs. L'accord est trouvé par la mesure de l'étincelle f, en parallèle avec le fritter-condensateur.

Dans le montage de la figure 3, les courants de haute fréquence de la bobine de mesure oscillent entre le conducteur b, b représentant le fritter, et la terre, et parcourent la self-induction de la bobine d'antenne v, qui est ainsi à ajouter à la self-induction des bobines de mesure. Au contraire, dans le nouveau montage (fig. 4), cette self-induction v est en dehors du système vibratoire, puisque la fritter-capacité est contiguë aux deux pôles de la bobine.

Digitized by Google

Quand, de cette façon, la fritter-capacité fut déterminée une fois pour toutes, et fixée (elle ne varie que très peu, au moins pour les tubes à vide employés par l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft), on eut avec cette méthode la possibilité de déterminer à l'avenir les conditions d'accord du récepteur.

Voici, en effet, la façon d'opérer :

Une bobine, chargée avec la fritter-capacité, ayant exactement les mêmes constantes de construction que la bobine employée plus tard à la réception, est reliée au transmetteur, et le nombre de spires en circuit est modifié jusqu'à ce que la bobine soit en résonance avec le transmetteur. Le nombre de spires employé est alors égal à la somme $S_v + S_e$.

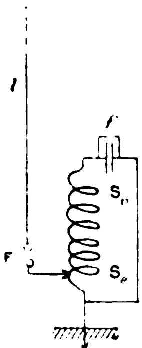


Fig. 5.

Les deux termes de cette somme sont maintenant trouvés de la façon suivante :

Au lieu de réception, l'antenne est mise en vibrations propres (fig. 5), non par des actions à distance, mais par une excitation transmettrice quelconque; par exemple, d'après l'ancienne disposition Marconi avec interposition d'une valeur estimée de S_v entre l'antenne et la terre. S_e est modifié jusqu'à ce que la bobine de mesure, chargée avec la fritter-capacité, soit en résonance avec les vibrations propres de l'antenne. S_v et S_e sont ainsi déterminés simplement, et le récepteur se trouve accordé en soi-même, après avoir été déjà accordé sur le transmetteur par la détermination de $S_v + S_e$.

La figure 6 montre une forme d'exécution pratique pour la bobine. Les valeurs S_v et S_e peuvent être chargées facilement et rapidement par le déplacement des contacts. Dans les modèles plus récents, on peut empêcher de vibrer les spires non intercalées dans le circuit, au moyen d'une ou plusieurs liaisons de court-circuit.

A l'heure actuelle, l'auteur ne charge plus les bobines de réception avec la fritter-capacité; il a déterminé une fois pour toutes un facteur de réduction par lequel il faut multiplier le nombre de tours de la bobine non chargée pour obtenir le nombre de tours correspondant de la bobine de réception chargée avec la fritter-capacité. Ce facteur a, pour les bobines normales et les fritters employés, la valeur 0,54.

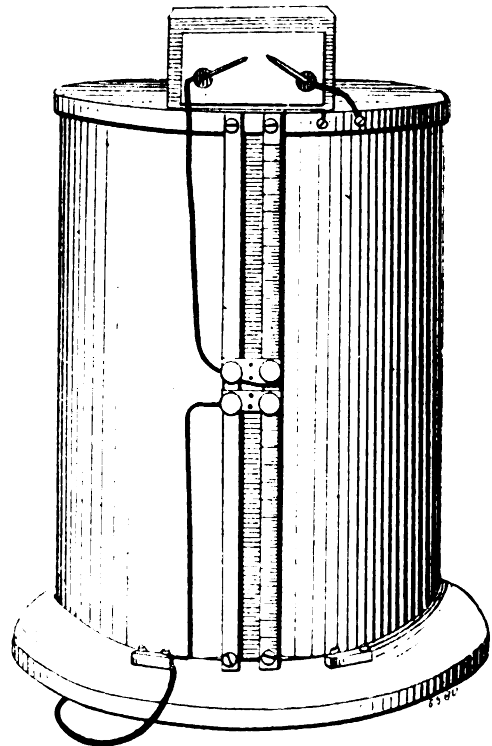


Fig. 6.

La méthode décrite a été indiquée tout d'abord par l'ingénieur Arco et appliquée ensuite pratiquement avec la collaboration de MM. Rendhal et Scheller, ingénieurs de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft.

4. Emploi pratique de cette méthode. — Pendant l'hiver 1901-1902, des expériences furent exécutées entre les stations d'essai de l'Oberschöneweide, près de Berlin et Schiffbauerdamm 22 (administration et bureau de l'Allgemeine Elektricitäts Gesellschaft).

La figure 7 montre, en plan et en élévation, la disposition des antennes transmettrices à

Digitized by Google

Oberschöneweide. Entre les deux cheminées de l'usine électrique, hautes de 70 m et distantes de 25 m, est fixée à la partie supérieure une corde en chanvre de laquelle partent 10 antennes distantes de 2 m l'une de l'autre et longues de 40 m chacune; ces antennes sont amenées obliquement au local d'expériences. Chaque antenne est un câble de cuivre nu composé de 7 fils simples de 0,28 cm. La distance du lieu d'expériences à la base des cheminées est en projection horizontale d'environ 120 m.

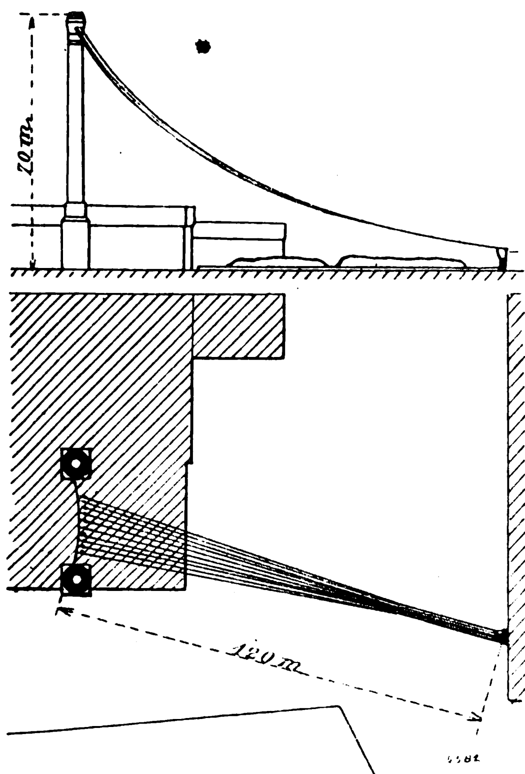


Fig. 7.

Dans toutes les expériences, les conducteurs, prolongés par une bobine d'induction, étaient mis à la terre à leur partie inférieure, simultanément par des jonctions aux rails de chemin de fer et au moyen de tuyaux aboutissant à une nappe d'eau souterraine. Ce système d'antennes fut excité électriquement de différentes manières et on détermina : la longueur d'onde avec un multiplicateur non chargé, l'accord de réception avec une bobine chargée. Ensuite, comme contrôle des valeurs trouvées, on détermina par expérience l'accord de l'autre station (Schiffbauerdamm, à 12,5 km), au moyen de l'appareil récepteur.

Les figures 8, 9 et 10 montrent :

1° Le genre d'excitation transmettrice et le mode de jonction du multiplicateur;

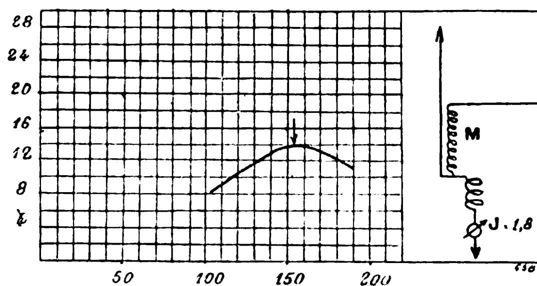


Fig. 8.

2° Les courbes des valeurs trouvées pour l'accord. Les abscisses représentent les longueurs de spires intercalées, en mètres; les ordonnées, les tensions à l'extrémité supérieure de la bobine, en millimètres d'étincelles;

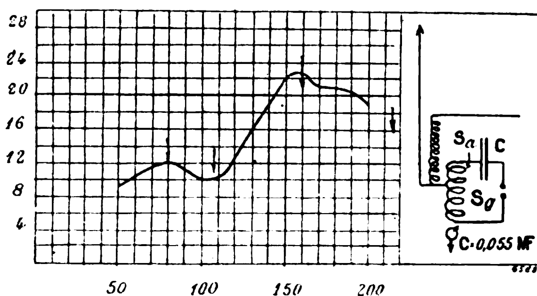


Fig. 9.

3° Les flèches verticales dessinées au-dessus des courbes indiquent les valeurs d'accord trouvées par expérience avec l'appareil de réception à Schiffbauerdamm.

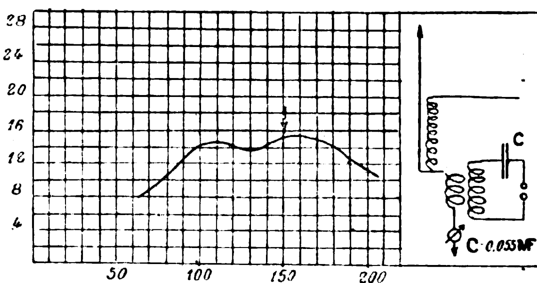


Fig. 10.

Digitized by Google

Sur ces figures, on peut faire les remarques suivantes :

Figure 8 (ancienne excitation Marconi). L'accord trouvé avec le multiplicateur donne

$$S_v + S_e = 154$$

Ce maximum est simple et net. L'accord de réception, contrôlé au moyen de l'appareil récepteur, donna la réception la plus favorable pour :

$$S_v = 135$$
$$S_e = 19$$
$$S_v + S_e = 154$$

Les figures 9 et 10 montrent un transmetteur à circuit excitateur séparé.

En figure 9, la liaison du circuit excitateur à l'antenne est directe.

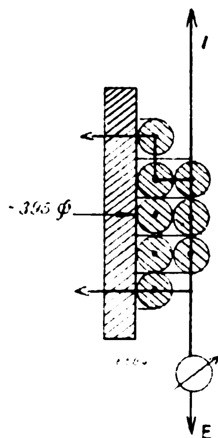


Fig. 11. — Diamètre de la bobine 395 mm.

Les vibrations du circuit sont accordées soigneusement sur celles de l'antenne.

Une partie seulement de la self-induction, les 3/5, se trouve dans le trajet vibratoire de l'antenne. Cette disposition était adoptée, de même que le groupement particulier des spires de la bobine représenté par la figure 11, pour que la disposition d'excitation de la figure 9 pût être le plus exactement possible comparée à la suivante (fig. 10 et fig. 12).

La prédétermination de l'accord donna deux maxima; l'amplitude de celui qui correspond à la plus petite longueur d'onde est environ la moitié de l'autre. Ces deux maxima ont été constatés dans presque tous les montages où l'excitation est faite par un circuit accordé séparé.

Les deux maxima furent retrouvés dans l'accord du récepteur, et cela de la manière suivante :

Le transmetteur fonctionnait, dans le mon-

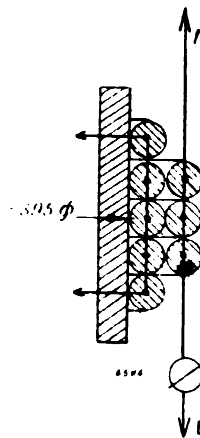


Fig. 12.

tage de la figure 9, avec une intensité très faible (5 mm d'étincelle). On trouva tout d'abord un maximum de réception pour

$$S_v = 63$$
$$S_e = 17$$
$$S_v + S_e = 80$$

en bonne concordance avec la courbe de mesure. En conservant la même intensité, l'appareil de réception fonctionna de nouveau pour

$$S_v = 100$$
$$S_e = 17$$
$$S_v + S_e = 117$$

et cessa de fonctionner, à peu près pour

$$S_v = 200$$
$$S_e = 17$$
$$S_v + S_e = 217$$

Le deuxième maximum de l'intensité de réception eut lieu pour

$$S_v = 143$$
$$S_e = 17$$
$$S_v + S_e = 160$$

Avec cet accord, les signes furent encore reçus très nettement avec une intensité de transmission correspondant à 1 mm d'étincelle.

L'antenne fut ensuite mise en vibrations au moyen de la liaison indirecte avec le circuit

Digitized by Google

excitateur (fig. 10 et 12). Comme nous l'avons dit, la self-induction est disposée de façon à donner des résultats aussi semblables que possible pour les différentes sortes d'excitations.

L'expérience donna encore deux maxima, mais cette fois d'amplitudes à peu près égales; les maxima sont également plus rapprochés l'un de l'autre. La réception confirma seulement le maximum correspondant aux plus grandes longueurs d'onde, avec

$$S_v = 133$$
$$S_e = 18$$
$$S_v + S_e = 151$$

Si l'on considère le montage de la figure 9, la production de deux maxima pour des longueurs d'onde différentes semble due à ce fait que les vibrations de l'antenne ont deux chemins différents vers la terre : le premier par la plus grande sef-induction seule, et le second par la

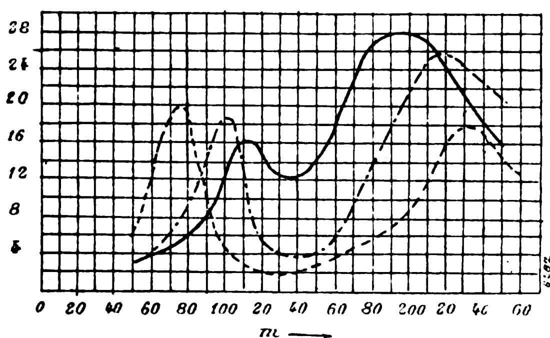


Fig. 13.

plus petite self-induction, la capacité et l'étincelle. Le premier donne les oscillations les plus lentes, l'autre les plus rapides. Si cette explication est exacte, les deux maxima doivent être d'autant plus éloignés l'un de l'autre que les deux chemins sont plus différents, et, par suite, d'autant plus grande la différence des temps mis par les oscillations à parcourir ces deux chemins.

Avec l'excitation inductive de la figure 10, il se produit également un phénomène semblable par suite de l'accouplement électromagnétique des deux systèmes vibrants par les enroulements primaire et secondaire du transformateur.

Cette hypothèse de l'auteur, au sujet de la cause des deux fréquences différentes, a été démontrée exacte par les deux méthodes de recherches différentes indiquées ci-après.

La figure 13 montre trois courbes d'accord obtenues avec le mode de montage de la figure 9. Pour ces trois courbes, la vibration excitatrice était toujours en résonance avec les vibrations de l'antenne; seulement, elle était produite par différentes grandeurs de capacité et de self-induction.

Les spires de self-induction ne se trouvaient que dans les parties communes des deux systèmes : $S_a = 0$ (fig. 9).

Courbe	Capacité	Nombre de spires
— — — — — — —	0,0008	14
— . — . — . —	0,0024	9
————————	0,0056	7

On voit que, si la self du circuit excitateur diminue et que la capacité augmente en proportion, l'amplitude de l'onde la plus longue augmente, et en même temps l'intervalle entre les 2 maxima diminue. Dans le cas limite où la capacité devient infinie, il n'y a plus qu'un maximum correspondant à la même longueur d'onde que dans le cas de l'ancienne excitation Marconi. On suppose, bien entendu, que dans tous les cas, le circuit excitateur reste en résonance avec les oscillations de l'antenne.

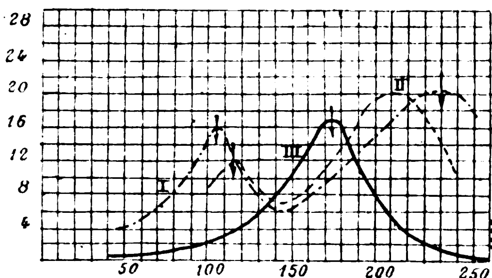


Fig. 14.

L'auteur recherche en outre s'il y avait d'autres cas que celui d'une capacité infinie où les 2 maxima pouvaient coïncider. Les figures 14 et 14 *a* montrent que le fait est possible et indiquent les dispositions permettant de le réaliser.

Le circuit excitateur, self et capacité, reste le même dans les 3 cas (I, II, III). Il est disposé symétriquement. La capacité, formée du montage en série des deux condensateurs C_1 et C_2 est de 0,0024 (0,0048 pour chaque condensateur). L'antenne et le conducteur de terre sont branchés, dans les 3 cas, en des points différents de la self-induction. Dans la disposition I (courbe

Digitized by Google

—.—.—.—.), entre les points de branchement se trouve toute la self-induction ; dans les autres, une partie seulement.

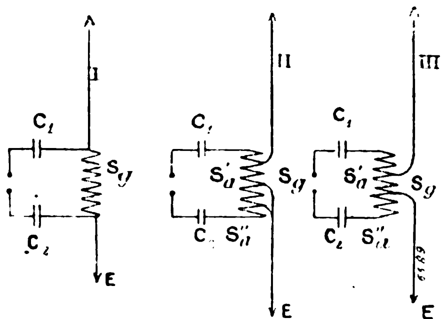


Fig. 14 *a*.

Dans le 1[er] cas, la différence de temps pour le parcours des chemins (self seule et capacité seule) est la plus grande : la courbe correspondante montre que l'écart des 2 maxima est aussi le plus grand. Dans le 2e cas, la différence de temps et la distance des maxima sont plus faibles ; et enfin, dans le 3e montage la self-induction est répartie dans les 2 chemins de façon que la différence des temps de parcours soit extrêmement faible ; la courbe III ne montre qu'un maximum.

Plus récemment la justesse de l'explication a été confirmée à nouveau par une autre disposition d'expérience. Les figures 15 et 16 renseignent à ce sujet [1].

L'expérience consistait à déterminer, au moyen du multiplicateur, le petit maximum des ondes plus courtes qui se produit avec le montage de la figure 9, et à trouver ensuite ce même maximum, avec l'excitation directe, pour un mode de montage (fig. 15, II), dans lequel la capacité de la figure 9 est intercalée directement et seule sur le chemin de l'antenne.

L'antenne employée était un câble d'environ 40 m de long venant de la tête d'un mât en bois de 20 m de haut. Les spires non intercalées de la bobine étaient toujours court-circuitées. La figure 15 montre les résultats d'expérience. Le petit maximum des ondes courtes a lieu dans la courbe I pour une longueur de spires de 50 m environ, et dans la courbe II, avec une amplitude un peu plus grande, pour une longueur presque égale, 52 m.

Dans la figure 16, on trouve le même mode de montage, sauf que la terre est remplacée par un fil de prolongement égal à l'antenne, formant contre poids électrique. L'accord des 2 petits maxima, excitation extérieure et excitation directe, est encore plus parfaite que dans le cas précédent. Les longueurs d'ondes absolues correspondant aux maxima sont plus petites qu'en figure 15, comme c'est presque toujours le cas

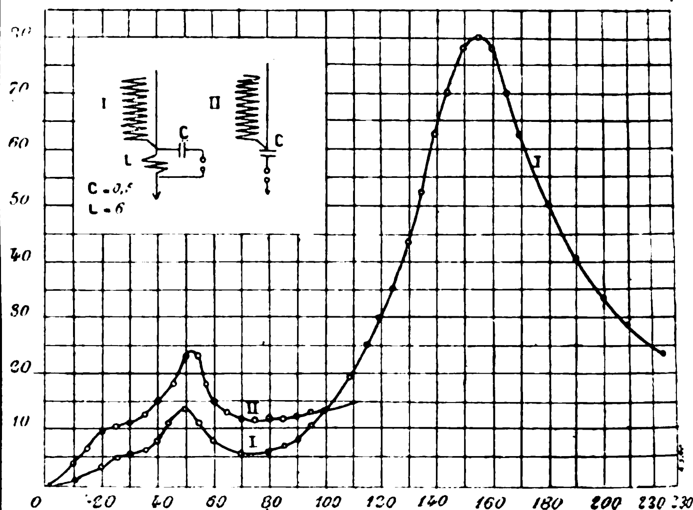


Fig. 15.

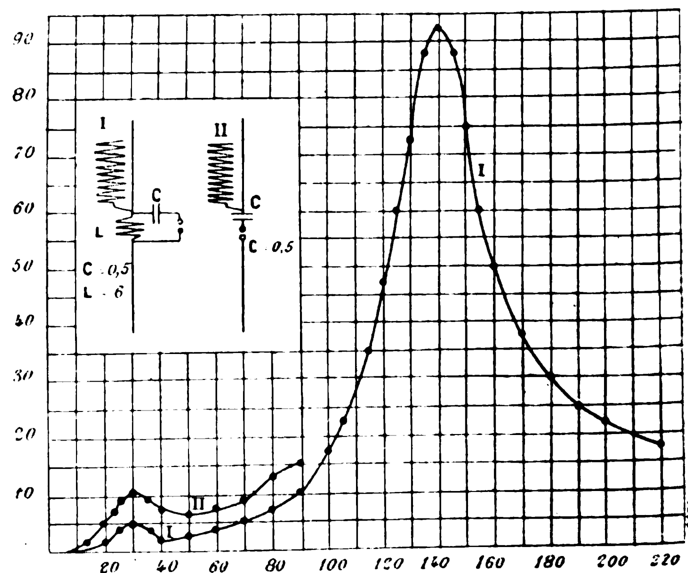


Fig. 16.

[1] Dans ces figures et les suivantes, les capacités ne sont pas données en microfarads, mais sont évaluées à l'aide d'une unité pratique égale à 0,002 microfarad.

Digitized by Google

lorsqu'un fil remplace la terre. Cela tient à ce que le contre poids n'est pas électriquement assez lourd, et que le ventre de courant n'est pas au milieu géométrique du système, mais un peu plus haut dans l'antenne.

De toute cette série de mesures il résulte que la méthode décrite permet un accord des récepteurs de télégraphie sans fil dans une mesure largement suffisante pour les besoins de la technique. De plus, cette méthode donne un moyen très simple et pratique pour exécuter des mesures de longueur d'onde et des déterminations de fréquence sans le secours d'appareils sensibles. Une exactitude de 1/2 à 1 p. 100 peut

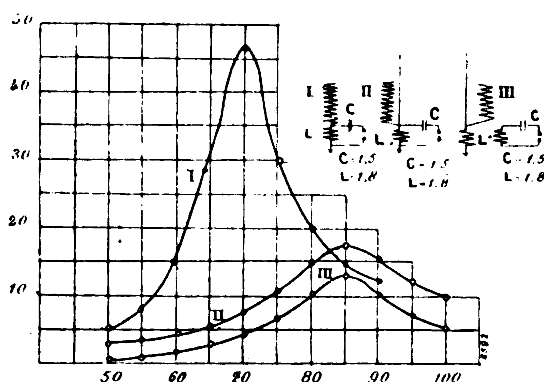


Fig. 17.

même être obtenue facilement par un expérimentateur un peu habile, sans emploi de micromètre à étincelles.

Pour la réduction des longueurs d'ondes trouvées par des mesures de bobines aux mêmes longueurs dans une antenne simple, l'auteur a déterminé le facteur constant 0,84, valable dans la limite des mesures faites. Il suffit de multiplier la valeur trouvée en mètres avec une bobine non chargée par ce facteur 0,84 pour avoir la même grandeur (1/4 de longueur d'onde par exemple) dans une antenne simple.

Les résultats d'expériences montrent également que, pour un transmetteur à excitation directe (fig. 8), les vibrations propres du système ne se produisent que dans une seule période ; au contraire, pour des excitations d'antenne avec circuit accordé, il y a toujours des vibrations propres de 2 fréquences différentes. La seule vibration pratiquement utilisable est celle qui a comme chemin la self-induction de l'antenne ; la longueur d'onde correspondante est identique à celle de la vibration unique de l'excitation directe (v. fig. 8, 9 et 10).

5. Emploi de la méthode pour d'autres mesures électriques. — L'auteur termine en indiquant encore quelques autres emplois intéressants du multiplicateur.

On peut déterminer par exemple, à l'aide du multiplicateur, l'accroissement d'amortissement dans un circuit excitateur lorsqu'on relie ce circuit d'un côté à la terre, de l'autre à des antennes radiantes accordées. On peut trouver également la réaction du système antenne-terre sur le circuit excitateur, réaction indiquée par le ralentissement des vibrations propres du circuit.

Ces recherches sont représentées dans les figures 17 et 18.

Fig. 17. — On reliera d'abord un multiplicateur à un circuit formé de C = 0,003 microfarad et L = 1,8, circuit mis à la terre en un point (montage I). La longueur d'onde mesurée est indiquée dans la courbe I. Ensuite l'antenne accordée fut reliée au circuit directement (montage II) ou par couplage inductif (montage III), et la longueur d'onde mesurée de nouveau avec le multiplicateur.

Les courbes donnent les résultats suivants :

1° Par l'adjonction de l'antenne, l'amplitude de la tension au multiplicateur est tombée à 1/3 environ de sa première valeur, c'est-à-dire que l'amortissement du circuit est considérablement augmenté.

2° La longueur d'onde s'est accrue dans le rapport de 85 : 70 = 1,20.

3° Dans le couplage inductif, l'énergie oscillante dans l'antenne était plus petite que dans la liaison directe, et cela dans le rapport de 13 à 17,5, c'est-à-dire d'environ 30 p. 100.

Cet accouplement inductif, réalisé dans l'expérience était trop lâche, la dispersion du transformateur trop grande.

Fig. 18. — Les mêmes essais sont recommencés pour les montages I et II, avec cette différence que la capacité du circuit est environ 2,6 fois plus grande que précédemment.

Les courbes montrent dans ce cas que :

1° La réaction de l'antenne sur le circuit, traduite par le changement de fréquence dans les vibrations propres, est moindre que précédemment. La longueur d'onde est accrue seulement dans le rapport de 72 : 65 = 1,11.

2° L'accroissement d'amortissement résultant

Digitized by Google

de la liaison de l'antenne est également moindre ($46 : 20 = 2,3$ au lieu de $46 : 17,5 = 2,63$).

L'existence d'une réaction de l'antenne sur le circuit excitateur pouvait faire penser que la liaison du multiplicateur lui-même causait peut-être également un changement de la longueur

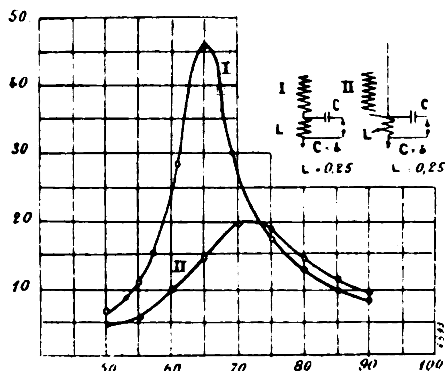


Fig. 18.

d'onde, auquel cas une correction aurait été nécessaire dans les résultats trouvés avec le multiplicateur.

Pour élucider la question, on mesura la longueur d'onde, une antenne étant fixée au circuit (fig. 17, I); ensuite, cette même longueur, après avoir ajouté un second multiplicateur chargé avec

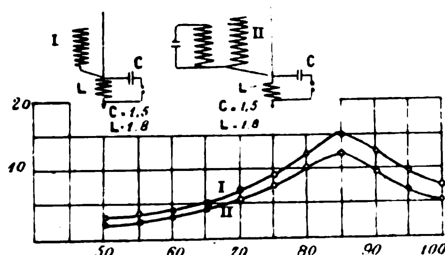


Fig. 19.

la fritter-capacité (fig. 19, II). Les courbes montrent que le multiplicateur n'occasionne pas de changement de longueur d'onde. Dans les 2 cas, la longueur trouvée est 85.

Citons enfin un autre emploi de la bobine de mesure pour la détermination des petites capacités [1].

La bobine chargée avec l'unité de capacité est reliée à un circuit en relation avec la terre et un fil, et le nombre de spires est modifié jusqu'à la production de la résonance. Ensuite la capacité est remplacée par la capacité à mesurer.

Soient : L_1 et L_2 les self-inductions dans chaque cas, C_0 la capacité unité, x la capacité cherchée. On a d'après la loi de Thomson :

$$x = C_0 \frac{L_1}{L_2}$$

Le rapport $\frac{L_1}{L_2}$ est déduit du nombre de spires N_1 et N_2 utilisées dans chaque expérience.

Pour des bobines dont la longueur est grande par rapport au diamètre et pour des valeurs de C_0 et x peu différentes, on peut admettre :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Le télégraphone de M. V. Poulsen, par **A. Gradenwitz.** Communication de l'auteur.

L'une des solutions les plus satisfaisantes qu'on ait données du problème ayant pour but de fixer le langage humain sur une machine et de le reproduire sans bruit secondaire, est représentée par le télégraphone de M. V. Poulsen. Cet appareil, comme on sait [1], consiste, sous sa forme originale, en un fil d'acier mince enroulé sur un cylindre et passant devant les pôles d'un électroaimant aux bornes duquel un microphone est relié ; en raison des fluctuations de courant dans le circuit microphonique, correspondant aux ondes acoustiques qui frappent la membrane du microphone, ce fil d'acier éprouvera des variations continuelles de magnétisme, variations qui, étant permanentes, pourront servir à enregistrer le langage. Lorsqu'en effet on insère ce fil d'acier dans un appareil similaire comprenant un électro-aimant relié à un téléphone, le passage du fil devant les pôles de l'aimant donnera lieu, dans le circuit téléphonique, à des fluctuations de courant et à des vibrations de la membrane téléphonique analogues à celles qui ont servi à produire les inscriptions.

Au récent Congrès technique et hygiénique de Copenhague, l'inventeur vient de présenter quelques nouveaux types de son appareil ; c'est à l'obligeance de M. Poulsen que nous devons de pouvoir donner ici quelques détails relatifs à

[1] M. Drude a mentionné cette méthode dans les *Annales de physique*, t. IX, p. 339, 1902.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 397.

Digitized by Google

ces intéressants dispositifs ainsi que les illustrations qui les représentent.

M. Poulsen s'est surtout occupé d'améliorer le coefficient économique de ses appareils. Les courants reproduits dans le circuit téléphonique sont généralement bien plus faibles que ceux qui ont servi à enregistrer le langage. Tant pendant les enregistrements que pendant les reproductions, il y a en effet des pertes d'énergie. Pendant les enregistreiments ces pertes sont dues à la désaimantation de l'acier, pendant les reproductions elles proviennent d'une utilisation imparfaite du flux de force dont on dispose. Aussi, il convient de prévenir autant que possible la désaimantation en modifiant la vitesse employée et en choisissant bien la matière réceptrice.

Plus la vitesse à laquelle l'acier est entraîné en face de l'électro-aimant est grande, plus l'amplitude des ondes acoustiques enregistrées sera considérable et moindre sera la désaimantation. Si l'électro-aimant est un aimant à 1 pôle, le rendement s'accroît avec la vitesse. Ces conditions sont quelque peu modifiées dans le cas où un aimant à 2 pôles serait employé, de manière à pouvoir effectuer les inscriptions par une magnétisation transversale par rapport à la direction de déplacement. Une fois que la vitesse est si grande que l'amplitude des ondes excède la longueur des aimants enregistreurs élémentaires, la désaimantation tranversale l'emportera et un accroissement ultérieur de la vitesse sera inutile.

Dans les appareils télégraphoniques ordinaires, on ne peut employer que des vitesses modérées, ces appareils devant recevoir une quantité considérable d'inscriptions, tout en n'étant pas trop encombrants. Il convient, par conséquent, dans la plupart des cas, d'employer une matière magnétiquement aussi dure que possible. La désaimantation des inscriptions est évidemment également prévenue en donnant à la matière une forme mince et pointue; comme cependant en même temps la résistance du circuit magnétique comprenant la matière à inscription et le fer de l'électro-aimant se trouve accrue, cet avantage est illusoire.

Dans les reproductions il y a, comme on vient de le dire, des pertes dues à l'utilisation imparfaite du flux de force des inscriptions. En vue d'obtenir des effets aussi grands que possible, on dispose le pôle du noyau de fer presque entièrement à l'intérieur des enroulements (voir fig. 1). Les noyaux de fer sont le plus souvent formés d'un morceau de fil de fer doux d'un diamètre d'environ 1 mm et d'une longueur d'à peu près 11 mm.

Il est important, pour assurer une bonne inscription, que la matière à inscription ne possède qu'une magnétisation permanente peu considérable, telle qu'on l'obtient facilement en effaçant

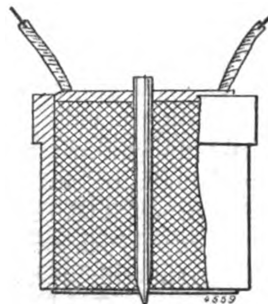


Fig. 1.

par exemple le magnétisme antérieur au moyen d'un pôle nord très intense et en exposant ensuite la matière à l'action plus faible d'un pôle sud. Une autre méthode consiste à polariser l'électro-aimant pendant que l'enregistrement se fait, de façon à compenser à peu près la magnétisation provenant de l'effacement antérieur. La polarisation de l'électro-aimant pendant les inscriptions présente en même temps l'avantage que les aimants moléculaires de la substance à inscription sont exposés, au moment même de la formation de l'inscription, à des chocs magnétiques produisant des augmentations apparentes de la perméabilité aux actions faibles. C'est ainsi qu'une respiration quelque peu intense peut s'enregistrer et se reproduire facilement au moyen du télégraphone. Cette polarisation de l'électro-aimant peut, par exemple, être produite par un élément de pile galvanique inséré dans le circuit enregistreur lui-même ou relié pendant les inscriptions à une bobine polarisante spéciale.

Comme les inscriptions consistent exclusivement en variations d'aimantation, ayant lieu dans la substance enregistrante, elles sont naturellement invisibles; les tensions mécaniques produites par l'aimantation dans la matière enregistrée sont d'autre part si petites qu'on peut

Digitized by Google

en faire abstraction. En reproduisant télégraphoniquement la voix humaine, on remarque de suite que les sons ne sont point dus aux mouvements d'un poinçon déplacé mécaniquement. Il n'y a pas de bruit secondaire provenant d'un grattement ou autre; les sons sont reproduits d'une façon douce et continue, comme dans les appareils téléphoniques ordinaires. Le langage enregistré peut être reproduit plus de 10 000 fois sans qu'on note la moindre diminution ou déformation; c'est dire que les inscriptions ne s'altèrent point, le magnétisme étant vraiment permanent, et pourtant — et c'est là un autre avantage du principe télégraphonique — les inscriptions, comme on vient de le dire, peuvent être effacées d'une façon commode et rapide en produisant une aimantation relativement forte de la matière réceptrice. Cet effacement de l'inscription est souvent regardé comme l'un des traits les plus remarquables du télégraphone. En saturant magnétiquement la matière enregistrante, il est en effet évident qu'on efface absolument toutes les « différences de niveau magnétique » représentant les ondes acoustiques. Dans bien des cas, sans réaliser une compensation absolue, on obtient facilement un tel degré d'effacement que les oscillations de la membrane téléphonique deviennent pratiquement nulles.

Le langage, une fois enregistré, peut évidemment, dans le cas où son intensité serait suffisante, être reproduit sur un nouveau cylindre, de façon à obtenir une copie plus faible de l'inscription acoustique. Dès le début de son invention, M. Poulsen a fait des essais dans cette direction, sans toutefois obtenir de résultats satisfaisants. Depuis, on a conseillé d'employer le télégraphone en vue de renforcer les courants téléphoniques, en leur ajoutant synchroniquement les courants d'un nombre de copies suffisant. Bien qu'on n'ait pas jusqu'ici réussi à obtenir des effets suffisants, il semble qu'avec des matières supérieures et une vitesse plus grande que celles dont on s'est servi dans ces expériences, le problème doive être susceptible d'une solution définitive.

Lorsqu'on enregistre plusieurs conversations les unes après les autres, sur la même matière, sans effacement préalable, on pourra, au même instant, les faire entendre simultanément, les inscriptions acoustiques différentes subissant des interférences régulières. On peut cependant, comme l'a indiqué M. P.-O. Pedersen, collaborateur de M. Poulsen, faire enregistrer, à la même matière enregistrice, deux morceaux différents, susceptibles d'être entendus à part. En effet, après avoir écrit un premier morceau au moyen d'un aimant à deux pôles dont les 2 bobines par exemple sont connectées de façon à constituer des pôles de signes opposés, on ne pourra pas reproduire la conversation si l'on dispose les bobines de façon à donner des pôles de mêmes noms. On pourra alors enregistrer l'autre

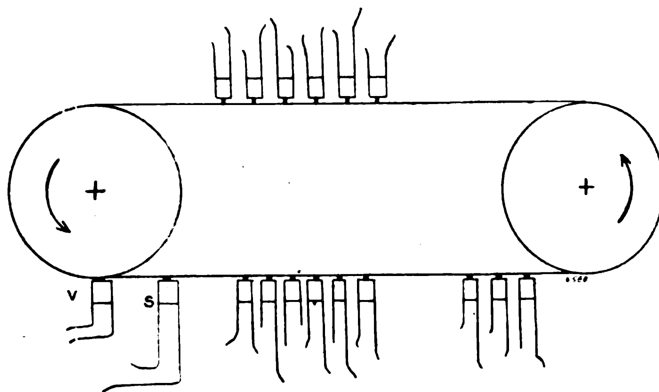


Fig. 2.

morceau et si ensuite on réalise des pôles de noms opposés, on pourra entendre le premier morceau à l'exclusion de l'autre. C'est ainsi que ces morceaux ne se présentent que lorsque la disposition réciproque des bobines est la même que pendant les inscriptions.

Une application spéciale du télégraphone est désignée sous le nom de *Journal Téléphonique;* c'est un appareil capable de distribuer le même spécimen de conversation, de musique, etc., à un nombre quelconque d'auditeurs. Un ruban d'acier sans fin (voir fig. 2) est posé autour de deux disques tournants, entraînant le ruban qui passe devant un électro-aimant S, enregistrant les nouvelles; ces dernières sont ensuite emportées par le ruban et amenées à un grand nombre d'aimants dits de lecture, disposés en une longue série, les uns après les autres, et qui, indépendamment les uns des autres, peuvent être mis en relation avec autant de lignes téléphoniques. Les inscriptions atteignent finalement un aimant effaceur V, après quoi le ruban d'acier passe de nouveau devant l'aimant inscripteur, et ainsi de suite.

Digitized by Google

Voici quelques-uns des différents types de télégraphones :

Le premier appareil télégraphonique, comme on vient de le dire, comprenait un fil d'acier enroulé en hélice sur un cylindre, de façon que le fil d'acier servait non pas seulement à enregistrer le langage, mais encore à guider l'électro-aimant. Cet appareil, tout en fonctionnant excessivement bien, ne possède qu'une capacité peu considérable en comparaison de son volume; il est désigné sous le nom d'*appareil-tambour;* dans l'appareil dit *appareil-bobine* (voir fig. 3), on emploie également un fil d'acier fort mince (environ 0,25 mm de diamètre) qui d'une bobine va se rendre à une autre, en passant dans son trajet devant des paires d'aimants ou aimants à 2 pôles, au nombre de trois ou davantage. La paire d'aimants moyenne est employée pour enregistrer et pour reproduire le langage, alors que les aimants externes sont des aimants effaceurs, mais dont on n'emploie qu'une paire à chaque fois. Tout est en effet disposé pour qu'on puisse effacer et inscrire en même temps, le fil passant devant un aimant effaceur puissant avant

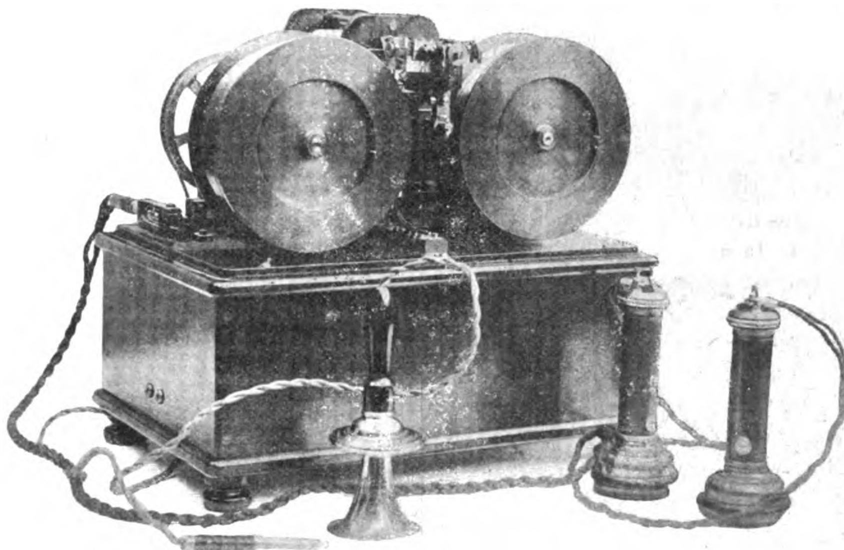


Fig. 3.

l'aimant inscripteur. L'appareil peut être employé dans deux sens, ayant une capacité d'environ 45 minutes pour une vitesse de 3 m par seconde. Il est muni d'une aiguille indiquant l'endroit du fil où on se trouve. Dans les appareils à ruban, on emploie, comme cela ressort de la désignation, un ruban d'acier enroulé d'un disque sur un autre en plusieurs couches superposées. Ce ruban n'a que 0,5 mm d'épaisseur et environ 3 mm de largeur. Comme dans l'appareil-bobine, on a ici une capacité très grande en comparaison du volume de l'appareil.

Il y a environ un an, M. Poulsen a eu l'idée de donner à la matière sensible une forme et une disposition analogues à celles employées dans le phonographe mécanique, en se servant d'un cylindre poli et réflecteur d'une matière magnétiquement dure et de dimensions analogues à celles des rouleaux de cire bien connus. La vitesse est d'environ 0,5 m par seconde, et la hauteur de l'hélice formée par les inscriptions est à peu près 0,3 mm. Bien que par conséquent l'électro-aimant ne puisse avoir que des pôles très petits et presque pointus, ces *appareils-cylindres* n'en donnent pas moins des reproductions excellentes et fort intenses, pourvu que le cylindre soit fait d'une manière convenable. M. Poulsen conseille à ce propos d'employer l'acier Böhler extra-dur, rationnellement trempé ou bien du fer électrolytique qui, surtout avec des additions de certaines substances, se prête très bien aux inscriptions. Dans les derniers types d'appareils, la matière enregistrice est, non pas un cylindre, mais une plaque mince d'acier, plaque qui est d'une fabrication plus économique et d'un usage plus commode que les cylindres. C'est un appareil plat semblable (voir fig. 4) que M. Poulsen a présenté pour la

Digitized by Google

première fois devant le Congrès de Copenhague. La plaque d'acier peut recevoir des inscriptions sur ses deux côtés, elle se monte et se démonte facilement et ses dimensions (13 cm de diamètre, 0,5 mm d'épaisseur) ne s'opposent point à ce qu'on l'introduise dans une enveloppe et l'expédie par la poste, n'importe où, afin d'être reproduite sur un appareil analogue. Le noyau de fer de l'électro-aimant est un morceau de fil de fer pointu qui se rechange facilement lorsque le pôle est trop usé (voir fig. 4).

Le télégraphone, en vertu du principe sur lequel il se base, s'emploie surtout en combi-

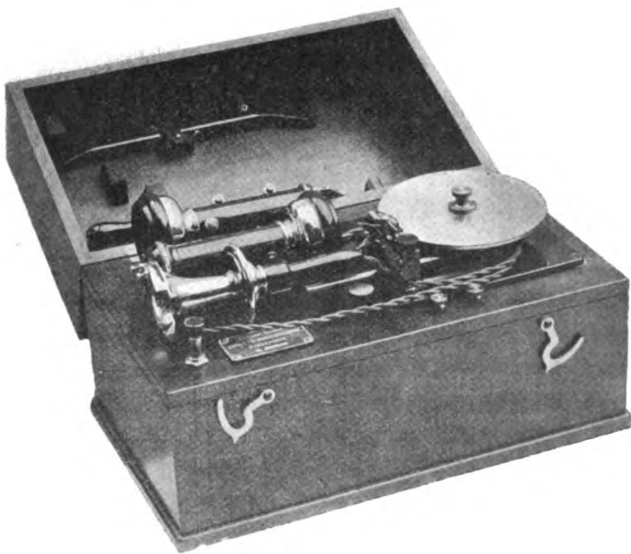


Fig. 4.

naison avec le téléphone dans les grands bureaux, afin d'enregistrer les conversations qui y ont lieu, alors que dans les petits bureaux il servira en même temps à donner et à recevoir des nouvelles en l'absence de l'abonné. En Amérique on a inscrit des nouvelles pareilles sur un appareil-bobine disposé chez un abonné de New-York, tandis que l'expéditeur se trouvait à Washington. En dépit de la grande distance à laquelle se faisait l'enregistrement, les reproductions étaient excessivement nettes. Comme les compagnies téléphoniques des différents pays ont le plus souvent des aménagements différents au point de vue tant technique qu'à celui du service, on ne peut pas non plus employer partout le même type de télégraphone comme téléphonographe; il conviendra de faire modifier dans chaque cas les circuits et les relais. Aussi, il paraît que les autres applications du télégraphone se développeront plus rapidement.

L'emploi des appareils-plaques, dont il vient d'être question, est tout spécialement indiqué pour tous ceux qui désirent faire leur correspondance d'une façon aussi commode et expéditive que possible. Les appareils à plaques plus grandes, capables de donner des effets acoustiques plus forts, seront également utiles dans l'enseignement des langues et du chant. Ces appareils télégraphoniques d'un type et d'un format différents seront lancés sur le marché dans un avenir prochain, maintenant que la Fabrique Danoise des Télégraphones a été ouverte.

Dans ce qui a été dit, on a surtout eu en vue l'emploi du télégraphone comme appareil phonétique. Mais il semble que le domaine du télégraphone soit bien plus étendu; le télégraphone se prête en effet à enregistrer et à reproduire des signaux quelconques exprimés par les variations d'un champ magnétique. Aussi il n'est pas improbable que le télégraphone sera employé à enregistrer des dépêches de télégraphie sans fil, surtout dans le cas où on se servirait d'un récepteur magnétique.

DIVERS

Emanation radioactive provenant du sol,

par **H. Ebert et P. Ewers**. *Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 162-166, décembre 1902.

Un tuyau de fer de 1,2 cm de diamètre intérieur est enfoncé dans un sol recouvert de gazon et la terre tassée tout autour, de manière que l'air aspiré par ce tube provienne surtout des couches profondes (à 140 cm de la surface). L'extrémité supérieure du tube, qui se trouve à 120 cm environ de hauteur, est reliée par un tube de verre et un tube de caoutchouc à la cloche d'un gazomètre, servant en même temps d'aspirateur.

Une fois le gazomètre rempli, on fait passer le gaz dans une cloche en verre, où on maintient la pression à une valeur voisine de la pression atmosphérique, en réglant la vitesse d'arrivée et l'écoulement du gaz.

Dans cette cloche est installé, sous un écran en toile métallique, un appareil à déperdition d'Elster-Geitel, qu'on pouvait charger et observer de dehors.

Quand on introduit dans la cloche un volume

Digitized by Google

d'air extrait du sol, égal au 1/9 du volume primitif, la conductibilité augmente dans des proportions considérables (dans le rapport de 22 : 1 par exemple). L'air enfermé dans la cloche en zinc conserve son activité pendant plusieurs jours.

Dès qu'apparaît la conductibilité provoquée par l'action ionisante de l'air du sol, on observe très nettement l'unipolarité. Les charges positives se perdent moins vite que les négatives. Les courbes de déperdition positive sont toujours au-dessous des courbes négatives et leur restent parallèles.

Le rapport entre les deux vitesses de déperdition dans le gaz confiné est environ 1,10 ; il est à remarquer que ce rapport est à très peu près celui qu'on a trouvé à l'air libre.

La vapeur d'eau et l'anhydride carbonique qui existent en abondance dans l'air du sol ne jouent aucun rôle essentiel dans ces phénomènes de radioactivité.

La déperdition augmente rapidement dès qu'on introduit dans la cloche l'air du sol : au bout de 6 heures, elle diminue, vite d'abord, puis plus lentement. Elle atteint à peu près une valeur constante au bout de 380 heures après le maximum. Elle tombe à moitié au bout de 77 heures, aussi bien pour la déperdition positive que pour la négative.

Il faut remarquer que la radioactivité induite de l'air diminue moins vite que toute autre de ce genre ; peut-être à cause du grand pouvoir pénétrant des rayons émis par l'air ionisé.

Même après avoir traversé un champ électrique intense, l'air du sol (dépouillé de la vapeur d'eau par l'acide sulfurique, du gaz carbonique par la potasse, des portions volatiles de l'humus par l'acide chromique), conserve son action ionisante. Par conséquent, cette action n'est pas due à la présence d'électrons, mais à une émanation qui transforme les molécules neutres d'un gaz en repos en particules électrisées.

Quand on remplace après un long séjour (140 heures) l'air actif par de l'air atmosphérique ordinaire, la vitesse de déperdition décroît d'abord très vite, puis s'arrête à une valeur supérieure à celle qui correspond à l'air ordinaire. L'air contenant l'émanation a rendu actifs les parois de la cloche, la toile métallique, le conducteur à déperdition, etc. C'est quelque temps après seulement que la vitesse de déperdition diminue peu à peu, jusqu'à la valeur normale.

Le formène, qui se trouve en quantité notable dans l'air du sol, n'influe pas sur la radioactivité.

En passant entre les armatures d'un condensateur cylindrique, l'air actif ne leur cède aucune charge, quand il vient directement du sol. L'effet est tout autre quand on a conduit d'abord l'air dans un grand ballon de verre bien desséché. Le dispositif permet de déterminer les charges cédées au condensateur, qui, dans ce cas, sont très appréciables, quand l'air a séjourné dans le ballon. L'air emprunté au sol renferme donc peu d'ions, mais il contient une émanation qui, au bout d'un temps suffisant, provoque la formation de ceux-ci dans un espace assez vaste.

M. L.

Etude théorique des relations mutuelles des phénomènes élastiques et des phénomènes magnétiques, par **A. Heydweiller**, *Drude's Annalen*, t. XII, p. 602-608, octobre 1903.

Soit un fil de fer de longueur l, de section s, placé dans un champ magnétique uniforme dont les lignes de force sont parallèles à son axe : ce fil est soumis à une traction pq, qui produit un allongement dl et une variation de volume dv et un accroissement $d\,\mathfrak{B}$ de l'induction magnétique $\mathfrak{B}$.

Le travail des forces extérieures a pour expression,

$$dA = pqdl + \frac{ql}{4\pi}\,\mathfrak{H}d\mathfrak{B} + \frac{\mathfrak{H}\mathfrak{B}}{4\pi}\,dv,$$

ou en prenant comme variables indépendantes la température T, la traction par unité de surface p et l'intensité $\mathfrak{H}$ du champ :

$$dA = A_1dT + A_2dp + A_3d\mathfrak{H}$$

Les valeurs des coefficients A_1, A_2, A_3 s'obtiennent facilement en identifiant les deux expressions.

Dans le cas du fer, à cause de la grande valeur du module d'élasticité E on a en désignant par $\varkappa$ la susceptibilité :

$$\frac{1}{l}\,\frac{dl}{d\mathfrak{H}} = \mathfrak{H}\,\frac{d\varkappa}{dp}$$

$$\frac{1}{E}\,\frac{dE}{d\mathfrak{H}} = E\mathfrak{H}\,\frac{d^2\varkappa}{dp^2}$$

Digitized by Google

pourvu que $\frac{d\varkappa}{dp}$ et $\frac{d^2\varkappa}{dp^2}$ ne soient pas infiniment petits.

Or, la courbe qui a pour coordonnées x et p, présente un minimum et un maximum entre lesquels se trouve un point d'inflexion ; en outre, il semble qu'il y ait en dehors de cet intervalle deux autres points d'inflexion. Par conséquent $\frac{d\varkappa}{dp}$ et $\frac{d^2\varkappa}{dp^2}$ et aussi $\frac{dl}{d\mathcal{H}}$ et $\frac{dE}{d\mathcal{H}}$ ont des signes différents dans les différentes régions de la courbe. Une augmentation du champ magnétique peut donc, suivant les cas, un accroissement ou une diminution tant de la longueur du fil que de son module d'élasticité. Il est à remarquer que dans un champ de même intensité, de faible valeur, la variation est de sens contraire pour le fer d'une part, pour le nickel et le cobalt d'autre part.

Ces conclusions théoriques sont en gros vérifiées par les résultats expérimentaux actuels ; mais dans les expériences, les conditions ne sont pas en général aussi simples qu'on l'a supposé. Ainsi quand on détermine le module d'élasticité par la flexion, une partie du métal est tendue, l'autre comprimée et l'échantillon n'est pas dans des conditions moléculaires et magnétiques homogènes.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Londres

Séance du 14 mai 1903.

La commande électrique dans les ateliers, par **A.-B. Chatwood**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 964-983, août 1903.

Dans les communications qui ont déjà été présentées sur cette question, on a discuté les avantages respectifs du courant continu et du courant alternatif, de la comnande par moteurs individuels et de la commande par groupes, etc. Les ingénieurs diffèrent d'avis sur ces questions posées dans l'abstrait, tandis qu'ils s'accorderaient probablement chaque fois qu'on les mettrait en présence d'un cas particulier. C'est ce que fait l'auteur en citant trois exemples d'ateliers mus par l'électricité.

Les trois ateliers considérés sont d'importance faible. Les deux premiers sont anciens, le troisième est nouveau. Ils sont situés à Bolton, où la ville fournit du courant continu par une canalisation à trois fils, à 230-460 volts. La ville loue des moteurs moyennant une redevance égale au 10 p. 100 de la somme formée par le prix du moteur lui-même, de l'appareil de démarrage et les frais d'installation. L'énergie électrique est vendue aux prix suivants :

Pour les premiers 500 kilowatts-heure par trimestre	0,225 fr.	par unité
Pour les 500 suivants	0,135 »	»
Au delà	0,1 »	»

L'auteur se basera sur ces données pour les évaluations faites dans ce travail.

Premier exemple. — L'atelier dont il s'agit était mû jusqu'en mai 1901 par la vapeur. A cette époque, les machines étant complètement usées, on les remplaça par un moteur électrique de 20 chevaux, qui a donné jusqu'ici des résultats très satisfaisants.

Ce moteur entraîne par courroie un arbre auxiliaire qui à l'une de ses extrémités actionne par un pignon d'angle un arbre de groupe et à l'autre extrémité, par courroie, un arbre intermédiaire ; chacun de ceux-ci transmet le mouvement à un second arbre, dont chacun enfin entraîne l'arbre de débrayage d'un outil, ou, dans quelques cas, un nouvel arbre intermédiaire.

La charge moyenne, y compris les pertes dans les transmissions, est de 15 chevaux. Avec la vapeur, les frais étaient ainsi répartis :

Salaires	1 820 fr.
Charbon	5 350 »
Eau	258 »
Enlèvement des cendres	150 »
Huile	375 »
Réparations	1 520 »
	9 473

pour une année d'environ 2 800 heures de tra-

vail. Ces chiffres ne comprennent pas l'intérêt du capital ni la dépréciation.

Avec le moteur électrique unique, le bilan s'établit ainsi :

10 p. 100 sur le prix du moteur et des accessoires	456 fr.
Nettoyage	27 »
Balais	34 »
Energie consommée	4 122 »
	4 639 fr.

La puissance moyenne absorbée est de 15,44 chevaux électriques, sur lesquels, d'après les mesures faites, il s'en perd 12,9 dans les transmissions. On a donc :

Puissance utile	2,54	chevaux électriques
Puissance perdue	12,9	» »

Cette forte proportion de puissance perdue tient au grand nombre des relais. C'est le cas de beaucoup d'installations dont le développement a été progressif et où l'on a ajouté de temps à autre un arbre ou un outil.

Deuxième exemple. — L'atelier dont il s'agit ici est mû actuellement par une machine à vapeur monocylindrique à balancier. L'auteur a été chargé d'y faire les essais nécessaires pour déterminer les conditions de marche, l'emploi de la force motrice électrique ayant été décidé. Ces essais ont donné les résultats suivants :

Puissance moyenne absorbée	26,6	chevaux indiqués
» maxima »	34 à 40	» »
Frottements dans la machine et les transmissions	22	» »
Puissance utile moyenne	4,6	» »

La dépense en combustible est de 10750 fr par an. Le total des frais de fonctionnement de la machine se monte à 15 000 fr par an, non compris le loyer, les impôts, l'assurance, l'intérêt et la dépréciation.

L'atelier comprend des scies, des poinçonneuses, des fraiseuses, des raboteuses, des tours, des polissoirs, etc. Avec un moteur unique de 40 chevaux, les dépenses seront les suivantes :

10 p. 100 sur les frais d'installation	700 fr.
Balais et nettoyage	157 »
Prix de l'énergie consommée	5 800 »
	6 657 fr.

Troisième exemple. — A la différence des deux précédents, cet atelier est d'installation toute récente ; on n'y a pourtant pas mieux compris le problème à résoudre.

L'établissement comprend deux ateliers placés l'un au-dessus de l'autre. Celui de l'étage inférienr contient une petite raboteuse, une fraiseuse un étau-limeur, une machine à percer, une meule et plusieurs tours, dont un seulement est à peu près constamment en service. Il est rare que plus de deux outils soient en fonctionnement simultané. La puissance est fournie par un moteur électrique de 5 chevaux, entraînant l'arbre moteur par l'intermédiaire de deux relais de courroies. Les transmissions ont été très soigneusement établies ; elles n'absorbent, y compris l'entraînement des poulies folles, qu'une puissance de 1,05 cheval. Ce moteur, au contraire, a un mauvais rendement ; il absorbe à vide 2,65 chevaux électriques.

L'atelier de l'étage supérieur renferme plusieurs petits tours et d'autres petits outils, dont trois ou quatre en moyenne fonctionant simultanément. Tous ces outils reçoivent la puissance du même arbre, qu'entraîne par courroie un moteur électrique de 6 chevaux. Quand l'arbre, les courroies et les poulies folles sont seuls en mouvement, ce moteur absorbe une puissance de 2,47 chevaux.

De ces chiffres et de la durée moyenne de marche des moteurs on conclut que les transmissions absorbent 160 kilowatts : heure pendant une semaine de 53 heures. Pendant ce même temps, le compteur indique une consommation totale de 174 kilowatts : heure. L'énergie employée utilement est donc de 14 kilowatts : heure, ce qui correspond à une puissance utile moyenne de 0,36 cheval, soit environ 8 p. 100 du total.

Dans ces conditions, les frais annuels seront les suivants :

10 p. 100 sur les frais d'installation	300 fr.
Prix de l'énergie consommée	1 400 »
	1 700 fr.

De tous les problèmes industriels, il n'y en a peut-être aucun qui exige autant que celui-ci l'étude détaillée de chaque cas.

On peut cependant donner les quelques indications générales suivantes :

Le courant continu est préférable au courant alternatif, le réglage de la vitesse ayant une importance extrême pour plusieurs catégories d'outils.

Digitized by Google

Le système de distribution et la tension doivent être choisis de telle sorte que l'installation puisse être reliée de façon permanente ou temporaire au réseau de la ville.

Il faut, en règle générale, réunir les outils par groupes, mais certains d'entre eux doivent être commandés individuellement.

Il sera rarement possible, en pratique, de réaliser toutes ces conditions, mais on pourra toujours, par un compromis, s'assurer les avantages les plus essentiels de la commande électrique sans trop de complications ni de dépenses.

Les avantages qu'on peut obtenir par la commande électrique s'énumèrent ainsi :

1° La puissance perdue est moindre ;

2° La position des machines est indépendante des transmissions ;

3° On peut régler séparément la vitesse de chaque outil ou de chaque groupe d'outil ;

4° On peut employer des outils portatifs :

5° On a toute facilité pour travailler en dehors des heures réglementaires ;

6° Les accidents sont peu importants et les dommages faciles à réparer.

7° La partie supérieure de l'atelier n'étant pas encombrée, le manœuvre des ponts roulants se fait aisément ;

8° Suppression des efforts dans la toiture de l'édifice et par suite économie dans le prix des constructions ;

9° Les mesures de la puissance absorbée par les outils sont rendues faciles.

L'auteur ajoute à cette énumération quelques commentaires que nous reproduisons en note (1).

Quant aux moteurs eux-mêmes, la limite inférieure de la puissance qu'il convient de leur donner dépend surtout du voltage de distribution.

Avec une tension de 200 à 250 volts, l'auteur n'hésite pas à descendre jusqu'à une puissance de 1 cheval, ou même de $\frac{1}{4}$ de cheval quand la commande individuelle est très avantageuse.

Les dispositions générales qu'on applique ordinairement à la commande électrique sont les suivantes :

1° *Un moteur par établissement.* — Il est évidemment irrationnel de remplacer une machine à vapeur ou autre par un électromoteur, qui revient plus cher et n'offre pas d'avantages ;

2° *Un moteur outil.* — Cette disposition n'est généralement pas la meilleure. Elle diminue la consommation d'énergie, mais elle alourdit l'intérêt et la dépréciation. Il y a d'ailleurs dans tous les les ateliers des outils dont la vitesse se règle par cônes ou par des mécanismes analogues avec une précision très suffisante ; ceux-là n'ont donc pas besoin d'un moteur individuel.

3° *Un moteur par groupe d'outils.* — On réalise ainsi une certaine économie dans les grands ateliers produisant eux-mêmes leur énergie électrique, mais le procédé est mauvais pour ceux qui l'achètent à un taux sensiblement uniforme, car des moteurs à gaz ou à pétrole fourniraient la force motrice à meilleur compte encore. Dans un cas comme dans l'autre, on n'obtient pas les avantages spéciaux à la commande électrique.

4° *Disposition mixte dérivée de la précédente.* — On emploie des moteurs de groupe autant qu'on peut le faire sans donner trop de développement aux transmissions et on actionne indivi-

---

(1) L'importance relative qu'on doit accorder à la réduction des pertes de puissance dépend en grande partie de la façon dont cette puissance est obtenue. Si l'énergie électrique est produite dans l'établissement même au moyen de machines à vapeur, l'économie réalisée par la réduction des pertes est loin d'être en rapport avec cette réduction, car une forte partie du prix de revient de l'énergie est due à des frais qui ne croissent pas proportionnellement à la puissance engendrée. Mais si l'on reçoit l'énergie d'une source extérieure, à un taux à peu près uniforme, la réduction des pertes a une grande importance.

Le réglage individuel de la vitesse de chaque outil améliore la production en qualité et en quantité. C'est ainsi que les tours, dont l'auteur a l'expérience personnelle, produisent de 20 p. 100 à 40 p. 100 de plus quand ils sont munis d'un moteur séparé et d'un rhéostat de réglage en dérivation.

Les outils portatifs sont très utiles dans deux cas : d'abord quand la pièce à travailler est lourde par rapport au travail à effectuer, ensuite quand on peut travailler en même temps plusieurs parties d'une même pièce et gagner ainsi du temps.

La mesure de la puissance absorbée par l'outil, que la commande électrique permet de faire avec facilité et exactitude, est précieuse pour l'industriel, d'abord parce que la charge perdue en frottements donne une indication très sûre de l'état d'entretien de la machine, ensuite parce que la consommation de courant, mesurée par un compteur, montre si toute la capacité de la machine est utilisée.

Digitized by Google

duellement les quelques outils les moins accessibles ;

5° *Disposition mixte dérivée du procédé n°. 2.* — C'est, selon l'auteur, la seule raisonnable. Tous les outils dont la période d'inaction est longue ou pour lesquels on a intérêt à régler la vitesse plus exactement que par les mécanismes ordinaires, ont leur propre moteur. Les autres sont réunis en groupes plus ou moins importants, de telle sorte que l'intérêt, la dépréciation, les frais de surveillance et de réparations et le prix de l'énergie consommée donnent un total minimum [1].

La transmission entre le moteur électrique et l'outil est aujourd'hui étudiée, surtout en Amérique, où l'on construit beaucoup de machines-outils portant avec elles leur moteur. Mais quand il s'agit d'un ancien atelier, dont la transformation doit s'effectuer sans interrompre longtemps le travail, le plus commode est de relier le moteur par courroie à l'arbre de groupe ou à l'arbre de débrayage de la machine. On peut quelquefois employer un pignon de cuir avec roue dentée ou vis sans fin ; ce système est alors préférable.

Il y a cependant deux catégories de machines qui réclament des transmissions spéciales ; ce sont 1° les machines à mouvement alternatif et à grande inertie, comme les raboteuses ; 2° les machines d'inertie très grande, qui absorbent beaucoup d'énergie à la mise en marche et peu à la vitesse normale, comme les meules. Pour le premier cas, on a imaginé le système suivant : au moyen d'un embrayage à friction magnétique, dont le courant d'excitation s'inverse à chaque fin de course de la raboteuse, le moteur actionne l'un ou l'autre de deux trains d'engrenages de rapports différents ; cette transmission a été reconnue très satisfaisante, mais son prix est trop élevé. Pour le second cas, celui des meules, l'auteur a proposé un moteur à deux vitesses (afin d'obtenir la même vitesse périphérique malgré la diminution de diamètre causée par l'usure) muni d'un petit combinateur et d'un rhéostat en dérivation. Ce moteur conduit la meule par une courroie et l'on intercale un accouplement magnétique soit dans l'arbre de la meule soit dans celui du moteur entre l'induit et la poulie. Le courant qui alimente l'embrayage magnétique passe à travers un rhéostat, de sorte qu'on peut régler la puissance transmise à la meule. Pour mettre en marche, on place la manette du combinateur dans l'une ou l'autre de ses deux positions, selon le diamètre de la pierre, et on fait démarrer le moteur à la manière ordinaire, en manœuvrant lentement le rhéostat ; puis, quand le moteur a pris sa vitesse normale, on continue à agir sur la même manette, ce qui a pour effet de diminuer peu à peu la résistance du circuit excitateur de l'embrayage magnétique et par suite de transmettre à la meule une puissance de plus en plus grande. Avec ce système, il suffit, pour mettre la meule en marche, d'un moteur assez puissant pour entretenir son mouvement (2,5 à 4 chevaux), et le courant de démarrage n'est pas excessif.

Il faut rappeler ici qu'un petit volant calé sur l'arbre du moteur et quelques spires d'excitation en série sont souvent très utiles pour une charge telle que celle d'une raboteuse.

L'auteur revient maintenant aux trois installations dont il a parlé plus haut et montre comment, en les modifiant selon les idées qu'il vient d'exposer, on peut réaliser de fortes économies et s'assurer tous les avantages de la commande électrique.

Premier exemple. — On ne voit ici que deux petits groupes à former, l'un à l'étage inférieur, l'autre à l'étage supérieur ; ils se composeront de cinq outils chacun. Il faudra alors 14 moteurs, dont les puissances seront comprises entre 1,5 et 7,5 chevaux ; moyenne : 2,8 chevaux.

---

[1] Voici comment on peut réaliser ce plan d'installation : on met d'abord à part les outils auxquels il faut adapter une commande individuelle afin de pouvoir faire varier commodément la vitesse, ensuite ceux dont la période d'inaction est longue, car il est probable que parmi ces derniers on pourra en grouper plusieurs. On pourra alors probablement former des groupes commodes avec le reste des outils. On doit se rappeler qu'il est souvent possible de former des groupes tels que les arbres qui les actionnent n'aient besoin d'être en mouvement que pendant une fraction de la journée de travail. D'autres fois, un seul ouvrier dispose d'un ensemble d'outils dont un ou deux seulement marchent à la fois : c'est un groupe naturellement formé qu'on peut commander par un moteur trop faible pour actionner toutes les machines ensemble.

Il est évident que plus la force motrice est divisée, plus sa valeur totale doit être grande, car on se prive ainsi de la puissance vive qui s'accumule dans les transmissions. Cette valeur totale, si l'on suit le plan qui vient d'être indiqué, sera de deux à cinq fois plus grande que la puissance utile d'une machine motrice actionnant le même atelier.

Digitized by Google

Les frais d'exploitation (évaluation basée sur la même période que précédemment) seraient les suivants :

10 p. 100 sur les frais d'installation	850 fr.
Nettoyage	187 »
Balais	150 »
Energie consommée	1 104 »
	2 291 fr.

Le total était de 4 639 fr avec le moteur électrique unique.

Deuxième exemple. — On peut ici commander séparément tous les outils pour lesquels le réglage de la vitesse est d'un grand intérêt et éviter toutes les transformations désavantageuses sans employer beaucoup de moteurs. En même temps, les pertes de puissance sont réduites à 3,1 chevaux. Il faut 18 moteurs, de puissances comprises entre 1,5 et 6 chevaux.

Frais d'exploitation pour une année :

10 p. 100 sur les frais d'installation	1 750 fr.
Nettoyage et balais	650 »
Energie consommée	2 388 »
	3 788 fr.

Le total était de 6 657 fr avec le moteur électrique unique.

Troisième exemple. — En partageant en deux l'arbre moteur de l'atelier supérieur et en ajoutant des moteurs séparés pour la raboteuse et le principal tour de l'atelier inférieur, on réduit la perte de puissance moyenne à 1,86 chevaux. La consommation d'énergie descendrait alors, pour 53 heures, de 174 à 85 kilowatts-heure, dont 16,5 p, 100 seraient utilement employés.

Frais d'exploitation pour une année :

10 p. 100 sur les frais d'installation	495 fr.
Energie consommée	729 »
	1 224 fr.

Le précédent total était de 1 700 fr.

Pour établir une comparaison générale entre les prix de revient de la commande par machine à vapeur et de la commande électrique, on peut se servir de formules empiriques permettant d'arriver à une grossière approximation.

Le prix de revient de la commande par machine à vapeur dépend surtout de la puissance de l'installation et du rapport entre la charge moyenne et la charge maxima. Il peut s'exprimer par

$$A + Bp + Cr$$

où A, B, C sont des constantes exprimées en francs par an ;

p est la puissance indiquée maxima des machines ;

r est la puissance indiquée moyenne pour une année ;

A représente les salaires du personnel employé aux chaudières, aux machines et aux transmissions ;

B désigne l'intérêt du capital, la dépréciation, les réparations et le loyer ;

C représente les dépenses de charbon et d'huile.

Les constantes A, B, C dépendent évidemment de la puissance de l'installation. Des courbes déduites d'un certain nombre d'observations représentent les valeurs de ces constantes en fonction du nombre de chevaux indiqués.

Une formule analogue donne le prix de revient de la commande électrique

$$A'n + B'p' + C'r'$$

A' représente les salaires *par moteur* du personnel employé aux moteurs et aux transmissions ;

n est le nombre des moteurs ;

B' désigne l'intérêt du capital, la dépréciation et les réparations ;

p' est la puissance utile totale, en chevaux, des moteurs installés ;

C' est le prix de revient annuel, en francs, du cheval utile. Il est donné par l'expression :

$$\frac{1}{e} \times \frac{736}{1\,000} \times \frac{x}{100} \times \text{nombre d'heures de marche}$$

dans laquelle :

e représente le rendement des canalisations et des moteurs, exprimé par une fraction de l'unité ;

x est le prix de l'énergie en centimes par kilowatt-heure ;

r' est la charge moyenne totale pour une année.

Les valeurs des constantes A', B', e, en fonction de la puissance moyenne des moteurs installés, peuvent aussi se représenter par des courbes dont l'auteur donne un exemple.

Pour établir une comparaison, soient les données numériques suivantes :

$$p = 125 \qquad r = 50$$
$$n = 25 \qquad p' = 100 \qquad x = 10$$

Digitized by Google

On tire des diagrammes les valeurs de A, B, C, A′, B′, e et l'on en déduit C′ = 282 fr.

En égalant alors les deux prix de revient (vapeur et électricité), on obtient $r' = 18,3$. Cela montre que dans les conditions choisies, si la charge utile moyenne, augmentée de la puissance perdue en moyenne dans les transmissions des groupes, est moindre que 18,3 chevaux, la commande électrique est plus économique que la commande par machine à vapeur.

Ces formules ne sont d'ailleurs données qu'à titre d'exemple. Chaque ingénieur pourra en établir d'analogues en choisissant la valeur des constantes selon la région et le genre de travail.

Quoique l'auteur n'ait voulu considérer dans cette communication que les applications de l'énergie électrique et non sa production, il ajoute en terminant quelques mots sur cet autre sujet. Selon lui, la production de l'énergie au lieu même d'utilisation n'est pas à recommander, à moins qu'elle ne fasse réaliser une économie considérable : il vaut mieux s'alimenter à une source extérieure. On profite ainsi du matériel de réserve installé à la station centrale et l'on s'épargne bien des difficultés.

Dans le cas où l'on produit l'électricité à l'atelier même, il ne faut pas oublier que les fortes variations de la charge justifient l'emploi d'une batterie d'accumulateurs. P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 19 mai 1903.

Discussion des communications de MM. Behrend, Adams et Garfield (1). *Transactions of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p. 820-830, juin-juillet 1903.

Au sujet de sa communication sur la chute de tension dans les alternateurs, M. Behrend désire ajouter que les ingénieurs ne comprennent pas toujours les conditions exactes de la chute de tension eu égard aux dimensions, rendement, fonctionnement et au prix des alternateurs. Ainsi, on propose parfois une chute de tension de 5 p. 100, avec $\cos \varphi = 1$, ou une autre de 12 p. 100 avec un $\cos \varphi = 0,80$, ou encore un accroissement d'excitation de 10 p. 100 entre la tension normale à vide et la tension normale en pleine charge avec un $\cos \varphi = 0,80$. L'étude de l'auteur a pour objet de montrer l'impossibilité de toutes ces conditions en pratique. D'autre part, une chute de tension trop réduite implique un faible rendement et un fonctionnement défectueux.

M. W. L. Waters est d'accord avec M. Behrend pour recommander l'étude de la chute de tension avec de faibles facteurs de puissance. Un alternateur peut avoir une chute de tension inférieure à 10 p. 100 pour des charges non inductives et se comporter très mal pour l'accouplement en parallèle et la mise en marche des commutatrices. Quant à l'emploi du diagramme de Kapp, l'orateur rappelle que cette méthode suppose la self-induction de l'induit constante, quelle que soit la phase du courant, c'est-à-dire pour une position relative quelconque de l'induit et des inducteurs ; or l'orateur a pu observer des variations de 600 p. 100 de cette self-induction avec bobines inductrices en court-circuit.

M. J. R. Armstrong attire l'attention sur la tendance à sacrifier la chute de tension au rendement, ce qui peut dans certains cas avoir de graves inconvénients. Ainsi, dans un transport d'énergie, où une station alimente deux sous-stations situées respectivement à 20 et à 100 km, si l'une des sous-stations est coupée brusquement, la tension montera à la station centrale et cette élévation de tension brusque peut, par suite des effets de capacité, provoquer des accidents sur l'autre ligne.

Au sujet du compoundage des alternateurs à collecteur, M. Marius Latour estime que toutes les méthodes indiquées par M. Adams se ramènent toujours à une combinaison d'excitation-série et d'excitation-shunt. — En pratique, la méthode la plus naturelle est d'employer deux circuits et deux collecteurs sur le rotor. Mais il est aisé de voir que l'emploi d'un transformateur compensateur est équivalent. Supposons que, dans le cas de deux circuits et deux collecteurs, l'excitation-série soit obtenue au moyen d'un transformateur K. Il est évident qu'en plaçant convenablement les balais, la réaction d'induit peut être annihilée en forme et en direction. Si l'on désigne par l la self-induction de chaque secondaire du transformateur-série, par r la résistance d'une phase du circuit d'excitation-série et par ω la fréquence des courants induits,

(1) Les analyses de ces communications n'ont pu être insérées dans ce numéro ; elles paraîtront dans le prochain.

Digitized by Google

les balais devront être placés dans une position telle que

$$Aoa = \frac{\pi}{2} + \text{arc tg} \frac{l\omega}{r}$$

A, *a* désignant respectivement le sommet du triangle d'enroulement et la position du balai correspondant. Pour obtenir l'excitation-shunt sans nouvel enroulement, il suffit de disposer les choses de façon que les courants-shunt passent par les secondaires du transformateur, ces derniers étant maintenant rattachés à l'enroulement du stator. Les courants sont donc en retard de phase d'un angle $= \text{arc tg.} \frac{l\omega}{r}$ et la machine se comporte comme si les balais étaient placés dans une position

$$Aoa = \frac{\pi}{2} + \text{arc tg} \frac{l\omega}{r} - \text{arc tg} \frac{l\omega}{r} = \frac{\pi}{2}$$

et comme si elle fonctionnait à vide et au synchronisme. L'orateur estime que M. Adams est dans l'erreur quand il prétend qu'il est impossible de compounder rigoureusement à toute charge avec un transformateur compensateur et que la machine ne saurait induire de courants à fréquence constante. La solution de ces deux problèmes dépend uniquement de la construction appropriée du transformateur compensateur.

P.-L. C.

Séance du 18 mai 1903.

Discussion sur quelques points de la théorie des courants alternatifs, par **W. S. Franklin**. *Transactions of the Am. Inst. of El Eng.*, t. XX, p. 831-843, juin-juillet 1903.

L'auteur de cette communication s'est proposé, d'accord avec M. Steinmetz, d'apporter devant l'Institut américain les éléments d'une discussion sur la théorie des courants alternatifs telle que M. Steinmetz l'a exposée dans ses ouvrages.

L'auteur s'efforce d'abord d'établir les mérites relatifs des deux modes de représentation graphique employés par M. Steinmetz. Dans la représentation ordinaire par vecteurs, il doit être bien entendu que, dire qu'un vecteur E représente une force électromotrice harmonique, signifie que c'est un segment tournant dont la projection sur une droite fixe représente les valeurs instantanées de la force électromotrice. Dans le diagramme en coordonnées polaires de Steinmetz, un vecteur de force électromotrice E définit un cercle dont le vecteur est le diamètre et dont les cordes représentent les valeurs instantanées de la force électromotrice. En ce qui concerne la composition de force électromotrice, dans le diagramme polaire, la valeur instantanée de $e' + e''$ est représentée par le segment intercepté dans un cercle dont le diamètre est la somme vectorielle des amplitudes E', E''. L'auteur estime ce mécanisme bien plus complexe et moins familier que celui de la représentation imaginaire, qui repose sur la représentation géométrique de l'exponentielle complexe E $e^{i\omega t}$.

L'auteur montre ensuite sur divers exemples la nécessité absolue de définir les signes de chaque grandeur dans les questions de courants polyphasés.

Il s'attache ensuite à montrer l'importance qu'il y a à développer chez l'étudiant la tendance à traduire toutes les conceptions physiques en des formules ou des représentations géométriques. A ce point de vue, la discussion des équations générales du transformateur conduit M. Steinmetz à une série de propositions tendant à montrer l'équivalence d'un transformateur avec une combinaison d'impédances en série et en parallèle d'un circuit simple. Mais cette équivalence se déduit de notions physiques immédiates, et l'auteur estimerait bien plus rationnel d'en déduire les équations générales du transformateur.

Le produit des valeurs instantanées d'un courant par une force électromotrice donne la valeur instantanée de la puissance qui est de la forme :

$$p = a + b \sin (2 \omega t + \theta)$$

Cette expression contient quatre éléments et ne peut être représentée par un vecteur. L'auteur estime que l'étude de M. Steinmetz sur la puissance et les quantités à double fréquence n'est pas très rationnelle et il ne voit pas ce que peut représenter un vecteur dont une composante est une constante et l'autre une fonction harmonique ?

P.-L. C.

Digitized by Google

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (¹).

Essai et analyse du carbure de calcium et de l'acétylène, par **H. Gall.** *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 772, 10 septembre 1903.

Sur la détermination du soufre et du phosphore, il n'a presque rien été publié; aussi l'auteur présente-t-il le résultat de quelques recherches effectuées à la fabrique Notre-Dame de Briançon (Savoie).

En décomposant le carbure par l'eau, le soufre reste entièrement dans le lait de chaux, si on prend un excès suffisant d'eau. On le dose, dans le dépôt, à l'état de sulfate de baryte. On trouve en moyenne 6 600 gr de soufre par tonne de carbure industriel.

Au contraire du soufre, le phosphore part, comme on sait, entièrement avec le gaz. Pour le doser, on emploie la méthode suivante, qui a été reconnue la meilleure. Le carbure est projeté dans du nitrate de sodium fondu (au rouge) dans lequel il brûle. On a finalement un mélange de carbonate de sodium, de nitrate de calcium et un dépôt qui contient le graphite et le carborundum.

La masse est dissoute dans l'eau, traitée par l'acide nitrique, et le phosphore est dosé par la méthode ordinaire au molybdate.

Une méthode analogue sert pour la détermination du phosphore dans l'anthracite et dans les électrodes, qui sont employés dans la fabrication du carbure.

On trouve dans le carbure industriel jusqu'à 648 gr de phosphore par tonne. Cette proportion se décompose peu à peu comme suit :

La chaux utilisée renferme de 390 à 260 gr de phosphore par tonne ; les électrodes en contiennent 310 gr par tonne ; enfin, dans l'anthracite on en trouve en moyenne 33 gr par tonne.

En outre, quelques autres substances utilisées renferment du phosphore ; c'est ainsi que le talc employé à la partie supérieure des électrodes en contient jusqu'à 2 p. 100.

La purification de l'acétylène par des substances retenant le phosphore est donc à recommander. L. J.

(¹) Voir *Écl. Elec.*, t. XXXXVI, p. 590, 4 sept. 1903, et t. XXXVII, p. 37, 110, 148, 3, 17, et 24 octobre 1903, p. 275, 14 novembre 1903.

Sur la luminescence des ions, par le Dr **Werner von Bolton,** de Charlottenbourg. *Zeitschrift f. Elektrochemie*: t. IX, p. 767, 10 septembre 1903.

Les expériences de Hoho et Lagrange ont montré que des baguettes métalliques plongées comme anodes dans un électrolyte approprié, devenaient incandescentes pour une tension d'environ 150 volts entre l'anode et l'électrolyte, pendant qu'une couche gazeuse mauvaise conductrice se produisait entre cette anode et cet électrolyte. Dans l'interrupteur de Wenhelt, une pointe de platine plongée comme anode dans l'acide sulfurique étendu s'entoure, après fermeture du circuit, d'oxygène incandescent qui se forme et disparaît par intermittences. On observe également une faible illumination des électrodes lorsque le courant alternatif traverse l'élément d'aluminium de Graetz.

Mais ces phénomènes diffèrent de ceux découverts par l'auteur en employant les métaux comme électrodes négatives. C'est en cherchant à obtenir un arc entre une baguette de charbon à l'anode et une spirale de cuivre à la cathode, l'électrolyte étant l'acide sulfurique étendu, que l'auteur les a découverts. En plongeant l'électrode de charbon dans l'acide on constatait, avec un faible sifflement, que toute la surface plongée s'entourait d'un manteau d'oxygène lumineux, de couleur jaune. Après quelques instants, le charbon étant retiré, on le trouvait poli sur la surface plongée.

Tous les métaux introduits comme positifs dans un électrolyte bon conducteur offrent ce phénomène du manteau lumineux jaune d'oxygène et sont par cela débarrassés de leurs impuretés grossières.

La seule condition à observer est que le courant doit passer au moment où l'électrode plonge dans le liquide ; il ne faut pas introduire l'électrode et fermer ensuite le circuit.

Si on inverse les pôles et qu'on prenne le métal comme cathode, on observe une vive lumière autour de la cathode et une fluorescence de l'électrolyte dont la couleur est caractéristique pour chaque métal.

Pour le cuivre cette couleur est bleu gris, elle est violette pour le plomb, verte pour l'aluminium, vert bleu pour le magnésium.

Les métaux du groupe du platine donnent tous des teintes différentes ; celle du platine est fortement violette, celle de l'iridium l'est moins ;

Digitized by Google

avec le palladium, la teinte est verte. De sorte que ces métaux peuvent être ainsi caractérisés par la couleur qu'ils donnent étant plongés comme cathodes dans les acides sulfurique ou nitrique étendus.

Hoho et Lagrange disent bien, dans leur description de brevet, que les électrolytes employés donnent, d'après leur constitution, une coloration différente par contact avec les métaux portés à l'incandescence, mais ils ne vont pas plus loin.

L'auteur suppose que la baguette métallique étant plongée dans l'acide nitrique étendu, par exemple, un peu de métal se dissout et les ions formés deviennent incandescents et s'évaporent grâce à la haute tension. Au point de vue de la coloration lumineuse, il est indifférent que ce soit les ions ou les molécules qui s'évaporent et deviennent lumineux. Donc que les ions attirés par la cathode gardent leur charge ou qu'ils la perdent en se transformant en molécules, cela n'a pas d'importance ici.

Le fait est que la lumière obtenue fournit les spectres les plus beaux ; pour les métaux alcalino-terreux, par exemple, ils sont plus beaux et plus vifs que ceux obtenus par étincelle entre la solution et une pointe de platine. C'est ainsi que le spectre des ions-strontium présente six à sept raies brillantes dans le vert, raies que l'on distingue à peine par l'étincelle.

Pour rechercher le spectre des métaux qui ne peuvent être conservés à l'air, l'auteur les plonge dans l'acide nitrique étendu de 4 parties d'eau et qui se trouve contenu dans un appareil consistant en un ballon en verre. Un tube ouvert à ses deux extrémités passe dans le ballon à travers un collet et aboutit jusque près du fond. C'est dans ce tube que l'on introduit l'électrode négative à l'extrémité de laquelle est fixé le métal à essayer. Le ballon étant ainsi divisé en deux compartiments, on évite la production de gaz tonnant et par suite les explosions.

Le spectre de l'aluminium est admirablement caractérisé par de larges bandes dans le vert et le bleu qui paraissent aussi attirées par le violet ; l'aspect est le même que celui donné par les demi-cylindres creux coupés perpendiculairement à leur axe et recevant la lumière du côté gauche. Le tranchant des ombres rappelle les cratères de la lune. Quelques autres métaux présentent également de telles bandes cylindriques qui se distinguent nettement des bandes cannelées ordinaires. Par exemple, le spectre des ions-magnésium possède deux bandes cylindriques vertes mais qui sont éclairées en sens inverse de l'aluminium, c'est-à-dire de droite à gauche, de l'extrémité violette du spectre vers le rouge.

Pour rechercher les spectres des ions de sels dissous, l'auteur se sert d'un appareil semblable mais beaucoup plus petit, d'une contenance de 1,5 cm^3 dont le tube intérieur contient un fil de platine et sert de chambre négative. Extérieurement l'appareil est muni d'une circulation d'eau car l'électrolyte ne tarde pas à entrer en ébullition, ce qui affaiblit le spectre. Comme le tube est très étroit, environ 4 mm de diamètre, il ne faut plonger l'électrode négative que lorsque celle-ci est branchée à la source (110 volts), car l'hydrogène dégagé se réunirait en une grosse bulle immobile et arrêtant le courant.

En ce qui concerne la sensibilité de cette méthode des spectres d'ions, l'auteur signale que 1 mg de nitrate de sodium dissous dans 10 litres d'eau est encore nettement perceptible, 1 mg de nitrate de thallium dans un litre d'eau donnait la belle raie verte du thallium après trois lavages successifs de l'appareil, à l'eau distillée.

Cet appareil, d'une sensibilité inconnue jusqu'ici, est appelé chromoscope par l'auteur. Le meilleur électrolyte à employer est l'acide nitrique (une partie pour quatre parties d'eau). L'acide sulfurique a l'inconvénient de se troubler avec certains métaux qui, comme le plomb, donnent des sels insolubles. Avec l'acide chlorhydrique, le platine, à l'anode, est attaqué par le chlore. En présence de l'acide nitrique et de l'acide sulfurique, la cathode devient matte. On peut démontrer par cela le passage du platine à l'état de nitrate qui colore l'électrolyte en brun. Dans l'acide sulfurique il se forme de la poussière de platine.

L'auteur présente aussi un appareil qu'il désigne sous le nom d'harmonica électrolytique des couleurs. Dans cet appareil sont plongés les uns à côté des autres plusieurs tubes à essai au fond desquels sont soudés des fils de platine qui servent d'anodes ; ces tubes renferment les électrolytes de différents métaux.

Avec la série Pb, Zn, Al, Mg, Na et Sr, on obtient une série de couleurs qui imitent le spectre continu. L. J.

Le Gérant : C. **NAUD.**

Digitized by Google

Tome XXXVII — Samedi 28 Novembre 1903. — 10e Année. — N° 48

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

NOTES SUR LES MOTEURS MONOPHASÉS A COLLECTEURS

I. — Les moteurs monophasés avant 1900 [1]

Les induits à collecteur placés dans des champs alternatifs ont fait l'objet d'essais d'un grand nombre d'inventeurs qui ont rencontré les difficultés dont on parlera plus loin. Les dispositions employées peuvent se classer dans les trois suivantes :

1° On emploie l'induit tout entier à la manière ordinaire, avec des inducteurs excités *en série* ou *en dérivation* (fig. 1).

2° On met l'induit hors du circuit principal, et au lieu de l'alimenter à la même source que les inducteurs, on le ferme en court-circuit sur lui-même, entre balais (fig. 2), en ayant soin de décaler ceux-ci par rapport au champ inducteur, de manière qu'ils soient soumis à une induction mutuelle de la part des courants inducteurs, même quand il est au repos. Le rotor se trouve dans les conditions d'un circuit secondaire de transformateur et il devient le siège d'un courant induit d'autant plus énergique que l'axe des balais se rapproche davantage de l'axe des pôles. D'autre part, à égalité de courants induits, le couple qui s'exerce entre le circuit d'armature et le champ inducteur est d'autant plus fort que les balais sont moins décalés. C'est donc dans une position intermédiaire qu'on devra placer les balais de façon qu'il y ait à la fois induction par le champ et réaction sur celui-ci.

Ce système a été indiqué depuis longtemps (1887) par E. Thomson ; divers inventeurs,

[1] Les nombreuses recherches auxquelles donne lieu le moteur à collecteur, depuis quelque temps, m'incitent à publier ces notes, écrites pour la plus grande part en 1899, pour un petit livre qui n'a pas été publié. Je les reproduits d'abord me réservant d'y ajouter, à la fin, une partie nouvelle traitant des perfectionnements apportés plus récemment, notamment par M. Latour, et que ne prévoyait pas mon texte lors de sa rédaction.

Digitized by Google

parmi lesquels MM. Hutin et Leblanc, ont cherché à le perfectionner. MM. Hutin et Leblanc ont dédoublé les pôles comme l'indique la figure 3 pour le cas d'un moteur bipolaire. L'axe neutre où sont placés les balais est placé à 45° des axes des quatre pôles ainsi formés.

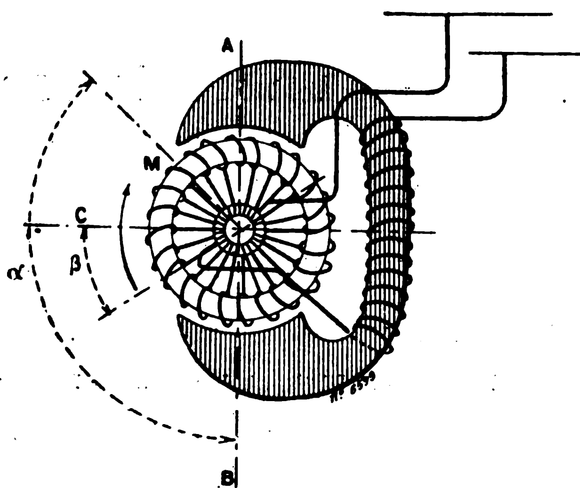


Fig. 1. — Induit à collecteur ordinaire excité en série.

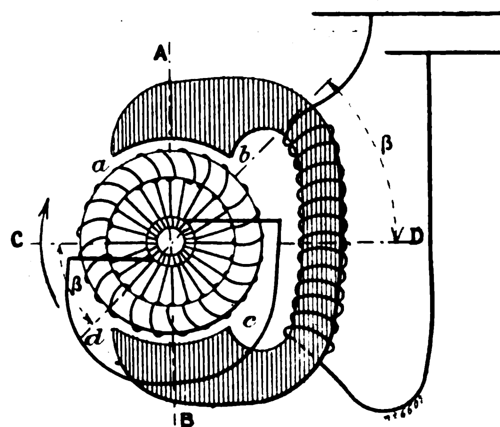


Fig. 2. — Schéma du moteur à répulsion à induit utilisé totalement.

Deux de ceux-ci agissent uniquement par induction, ce sont ceux qui sont dirigés suivant la ligne des balais ; les deux autres placés sur un diamètre perpendiculaire servent au contraire uniquement à produire le couple par réaction sur le courant induit.

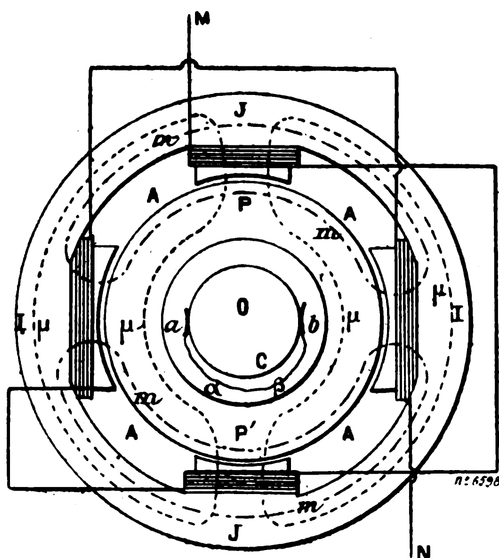


Fig. 3. — Moteur à induit fermé, Variante de Hutin et Leblanc (pour induit bipolaire).

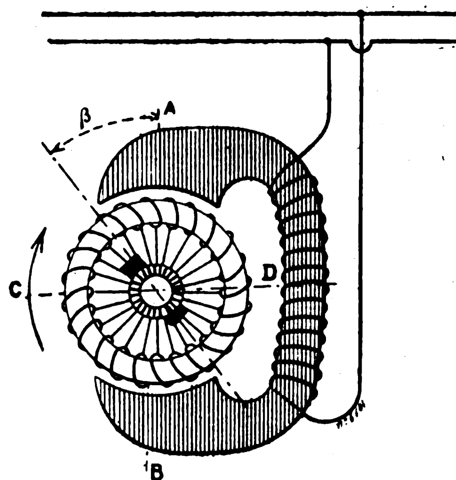


Fig. 4. — Schéma du moteur à répulsion avec un nombre limité de spires en court circuit.

En réalité ce dispositif est équivalent au précédent puisqu'il revient à décaler les balais à 45° par rapport au flux total émané des deux pôles de mêmes noms. Ce n'est donc qu'une variante de construction. Mais elle se prête à d'autres combinaisons intéressantes : une des

Digitized by Google

paires de bobines inductives peut être excitée non plus en série avec l'autre, mais en dérivation sur le moteur, ou bien être alimentée par le courant pris entre les balais de l'induit. Dans le premier cas, le courant inducteur de ces pôles est encore presque en phase avec l'autre (si on a soin d'inverser le sens de l'enroulement) ; dans le second cas, au contraire, il y a un décalage de près de $\frac{\pi}{2}$ qui rend impossible un fonctionnement satisfaisant.

Nous donnerons au *moteur à induit fermé* le nom de *moteur à répulsion* qui en exprime les fonctions caractéristiques, car les pôles induits sur le rotor, étant de même signe que les pôles inducteurs voisins sont repoussés par eux constamment.

3° Le même principe peut être employé d'une façon un peu différente en réduisant à un petit nombre seulement les spires mises en court-circuit par les balais (fig. 4). Ceux-ci sont décalés encore d'environ 45°, mais dans le sens opposé à celui du cas précédent et ne sont plus réunis par un conducteur extérieur ; ils mettent en court-circuit un certain nombre de touches de l'induit et par conséquent les spires qui y aboutissent ; on peut faire varier le nombre des sections ainsi utilisées en élargissant plus ou moins les balais. On remarquera que toutes les autres spires de l'anneau ne sont parcourues par aucun courant, bien qu'elles soient le siège de forces électromotrices induites, parce que celles-ci s'équilibrent des deux côtés entre les balais. Mais on multiplie aussi les étincelles sous les balais d'une manière fâcheuse.

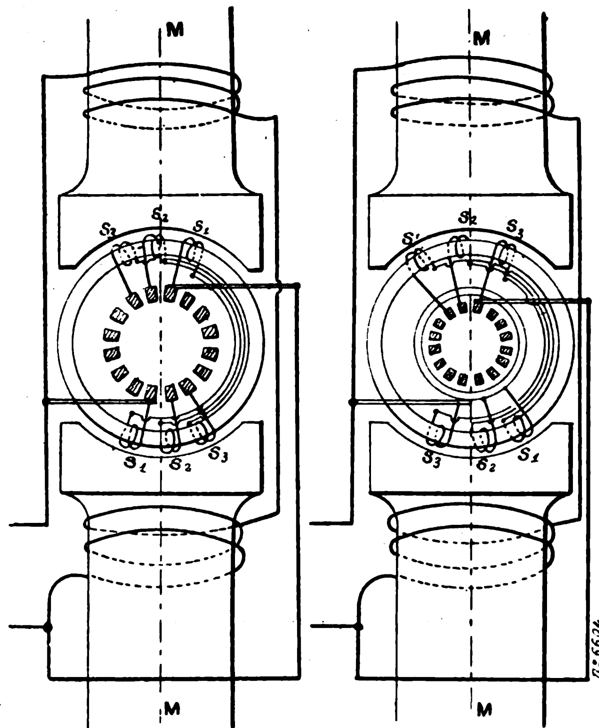


Fig. 5 et 6. — Dispositifs d'induits à utilisation partielle système Déri.

D'autre part ce type de moteur est beaucoup moins bien utilisé que le précédent puisqu'on ne fait travailler qu'une partie des spires de l'induit et que ces spires sont moins bien placées dans le champ. Il est vrai que les sections, n'étant parcourues par le courant que pendant l'instant très court de leur passage sous les balais, peuvent supporter, à égal échauffement, une intensité efficace plus grande que dans le cas précédent, majorée dans le rapport $\sqrt{\frac{\pi}{\delta}}$, en appelant δ l'angle du secteur de collecteur couvert par chacun des balais. Mais cet accroissement est loin de compenser l'infériorité précédente.

D'autres dispositifs d'induit à utilisation partielle (fig. 5 et 6) ont été imaginés par M. Déri [1], qui les appliquait à des moteurs en dérivation. Dans le premier, les bobines poposées sont groupées en série deux par deux ; dans le second, toutes les bobines ont un poste commun réuni à une bague continue sur laquelle frotte un des balais. Le court-circuit des bobines est produit par une jonction entre les bobines. Mais ces dispositifs sont équivalents au précédent et ne valent pas mieux.

(1) Voir un article de M. Guilbert dans la *Lumière Électrique*.

Digitized by Google

En 1893 la Société de Oerlikon a breveté, en Suisse, l'emploi d'un stator bobiné comme ceux des moteurs d'induction monophasés et l'addition de résistances extérieures entre les balais pour la régulation de la vitesse (fig. 15 et 16).

Les moteurs-transformateurs présentent l'avantage d'un facteur de puissance satisfaisant en charge ; ils permettent, en outre, l'emploi de bobinages induits à très bas voltage, réduisant beaucoup la production des étincelles aux balais. Ils sont donc théoriquement supérieurs aux moteurs en série, et on peut s'étonner qu'ils ne fassent pas l'objet d'applications plus pratiques.

En résumé, il existe deux types de moteurs ordinaires et deux types de moteurs à répulsion, que nous examinerons séparément au point de vue de leur fonctionnement.

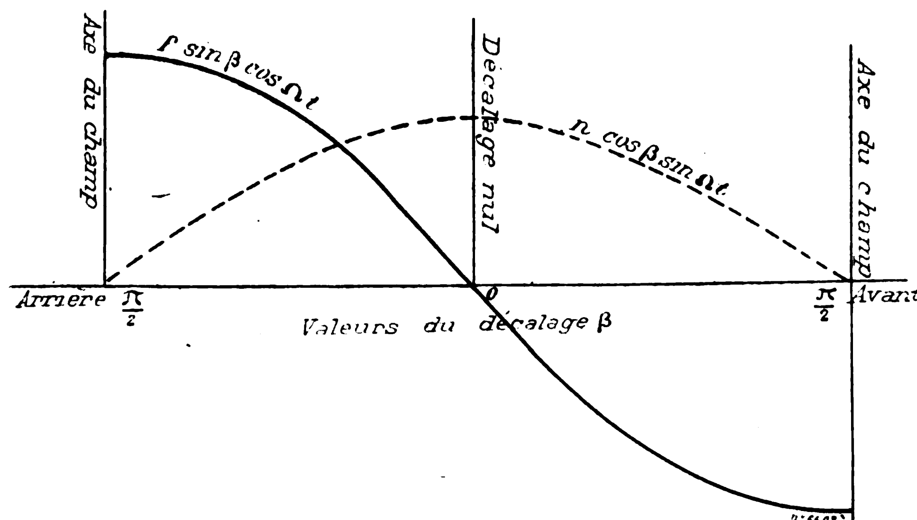


Fig. 7. — Variation des deux forces électromotrices en fonction du calage des balais à partir de la ligne neutre.

Auparavant, il convient de rappeler sous une forme générale la production de la force électromotrice dans un induit à collecteur tournant dans un champ alternatif.

Forces électromotrices et réaction de l'induit. — Considérons pour simplifier le cas d'un moteur bipolaire à anneau Gramme et supposons le circuit d'excitation des inducteurs parcouru par un courant alternatif. Le flux inducteur à travers l'induit sera lui-même alternatif et pourra être représenté par une expression de la forme.

$$\frac{\Phi_0}{2} \sin \Omega t,$$

Φ_0 étant le flux maximum total issu d'un pôle inducteur. Le flux qui traverse une bobine de m spires dans la position OM faisant l'angle α avec la ligne des pôles AB, sera (fig. 1), en supposant le flux reçu dans le sens positif,

$$\Phi = m \frac{\Phi_0}{2} \sin \Omega t \sin \alpha.$$

La force électromotrice induite dans la bobine aura donc pour valeur

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{m\Phi_0}{2}\left[\sin \Omega t \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} + \Omega \sin \alpha \cos \Omega t\right]$$

$$= -\frac{m}{2}\Phi_0\left[\omega \cos \alpha \sin \Omega t + \Omega \sin \alpha \cos \Omega t\right] \qquad (1)$$

Digitized by Google

en appelant ω la vitesse de rotation du moteur, c'est-à-dire

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt}.$$

Cette formule donne en fonction de l'angle α la valeur de la force électromotrice *en un point de l'espace* telle qu'on la mesure entre deux touches du collecteur à l'aide de deux petits balais d'épreuve de Mordey. On voit qu'elle se compose de deux termes : le premier, qui dépend de la vitesse ω et lui est proportionnel, est la force électromotrice induite par la rotation dans le champ Φ_0 ; il est maximum dans le plan AB et nul sur la ligne neutre CD. Le second, qui est indépendant de la vitesse, représente la force électromotrice induite par les variations périodiques du flux alternatif dans la bobine jouant le rôle du secondaire d'un transformateur ; elle est nulle dans le plan AB et maxima à la ligne neutre. En développant le collecteur sur un plan et portant les deux forces électromotrices en ordonnées, on aura donc deux courbes semblables à celles de la figure 7, dont l'une est invariable, tandis que l'autre peut s'élever plus ou moins suivant la vitesse. Cette décomposition peut se traduire aussi à l'aide des vecteurs comme le montre la figure 8. La force électromotrice résultante efficace est représentée par un vecteur

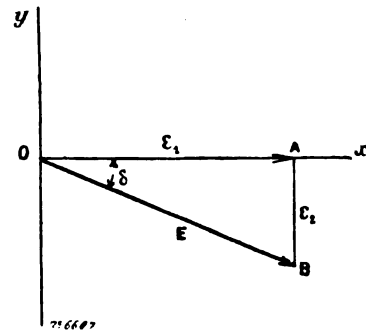


Fig. 8. — Composition des forces électromotrices.

$$E = -\frac{m\Phi_0}{2\sqrt{2}}\sqrt{\Omega^2 \sin^2\alpha + \omega^2 \cos^2\alpha}$$

résultante géométrique de deux vecteurs, l'un horizontal (en phase avec le flux Φ_0)

$$\varepsilon_1 = OA = -\frac{m\Phi_0}{2\sqrt{2}}\omega \cos \alpha;$$

l'autre vertical (en quadrature avec Φ_0)

$$\varepsilon_2 = AB = -\frac{m\Phi_0}{2\sqrt{2}}\Omega \sin \alpha.$$

On en déduit également le décalage de E,

$$tg\gamma = \frac{\Omega}{\omega} tg\alpha.$$

Si l'on considère, au contraire, une même bobine dans son mouvement, supposé compté à partir d'un moment où elle a, par coïncidence, passé par l'axe AB, quand la phase du courant était aussi zéro, la variation de la force électromotrice obtenue en remplaçant α dans (1) par sa valeur ωt sera de la forme

$$e = -\frac{m\Phi_0}{2}\left[\omega \cos \omega t \sin \Omega t + \Omega \sin \omega t \cos \Omega t\right] \qquad (2)$$
$$= -\frac{m\Phi_0}{4}\left[(\Omega + \omega) \sin (\Omega + \omega)t - (\Omega - \omega) \sin (\Omega - \omega)t\right],$$

c'est-à-dire que chaque bobine est le siège de deux forces électromotrices de pulsation $(\Omega + \omega)$ et $(\Omega - \omega)$.

Digitized by Google

Si, au lieu d'une machine bipolaire, on avait affaire à une machine $2p$ polaire, il faudrait faire ω égal à p fois la vitesse angulaire.

Enfin si, dans le premier cas, au lieu de spires isolées, on considère l'induit entier entre balais, décalés de l'angle β en arrière du mouvement, la force électromotrice totale entre ces balais est la somme des forces électromotrices élémentaires, c'est-à-dire le produit du nombre des spires d'un 1/2 anneau par la force électromotrice moyenne d'une spire pour un déplacement égal à π, de $-\frac{\pi}{2}-\beta$ à $\frac{\pi}{2}-\beta$.

$$e_m = -\frac{\Phi_0}{2}\int_{-\frac{\pi}{2}-\beta}^{\frac{\pi}{2}-\beta}(\omega \cos\alpha \sin\Omega t + \Omega \sin\alpha \cos\Omega t)d\alpha$$

$$= \frac{\Phi_0 \omega \sin\Omega t}{2}\left[\sin\left(\frac{\pi}{2}-\beta\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{2}-\beta\right)\right]$$

$$- \frac{\Phi_0 \Omega \cos\Omega t}{2}\left[\cos\left(\frac{\pi}{2}-\beta\right) - \cos\left(-\frac{\pi}{2}-\beta\right)\right]$$

$$= \frac{\Phi_0}{2}\left[\omega \cos\beta \sin\Omega t - \Omega \sin\beta \cos\Omega t\right]$$

La force électromotrice totale efficace des $\frac{N}{2}$ spires est donc en appelant N le nombre de fils périphériques, n le nombre de tours par seconde et f la fréquence.

$$E_{tot} = \frac{N\Phi_0}{2\pi}\left[\omega \cos\beta \sin\Omega t - \Omega \sin\beta \cos\Omega t\right]$$

Cette expression est de même forme que celle de e, α étant remplacé par β, c'est-à-dire la ligne des balais β perpendiculaire à la direction du diamètre α; on peut écrire aussi

$$E_{tot} = N\Phi_0\left[n \cos\beta \sin\Omega t - f \sin\beta \cos\Omega t\right]$$

Le signe du second terme se trouvera modifié si on fait ce décalage β en avant ($\beta < 0$).

Dans le cas où les balais sont calés à la ligne neutre, cette force électromotrice totale se réduit bien à

$$E_{tot} = \frac{Nn\Phi_0}{\pi\sqrt{2}} \sin\Omega t$$

et dans le cas de $\beta = 90°$, à

$$E = -\Omega \frac{1}{\pi} \frac{N\Phi_0}{2\sqrt{2}},$$

dans laquelle $\frac{1}{\pi}$ représente (dans l'hypothèse sinusoïdale) le facteur des divisions en phases et de chevauchement, que nous représentons en général par k_2.

Le vecteur représentatif E_{tot} aura pour composante horizontale

$$E_1 = \frac{N\omega\Phi_0}{2\pi\sqrt{2}} \cos\beta$$

et verticale

$$E_2 = -\frac{N\Phi_0}{2\pi\sqrt{2}} \Omega \sin\beta.$$

Digitized by Google

Ces diverses formules qui définissent la répartition et la variation des forces électromotrices induites dans une armature à collecteur, sont donc évidentes; elles nous serviront dans la suite.

Pour les induits en série des machines multipolaires N, désigne le nombre total de fils périphériques de l'anneau ou du tambour, et Φ_0 la somme du flux total émané des pôles de même signe.

Quant aux réactions magnétiques de l'induit, elles sont analogues à celles des moteurs à courant continu, avec la seule différence que des flux qu'elles produisent varient périodiquement comme le courant de l'induit avec la fréquence f. Quand les balais sont à la ligne neutre (sur la fig. 2), l'induit se comporte comme un électro-aimant à axe horizontal, son flux de réaction se réduit à un flux transversal et qui se ferme dans les pièces polaires, sans pénétrer dans les noyaux; quand ils sont décalés d'un angle β, la force magnétomotrice des spires comprises dans l'angle $aod = 2\beta$ se retranche de celle des inducteurs puisque le décalage est en arrière du sens du mouvement.

Difficultés de construction et d'emploi. — Les rapides inversions du courant dans le système inducteur, obligent, pour éviter des courants de Foucault exagérés, à construire celui-ci tout entier en tôles feuilletées, ce qui augmente le prix de revient. Même dans ces conditions, le rendement se trouve fort réduit par suite des grandes masses de fer soumises à l'hystérésis et aux courants de Foucault.

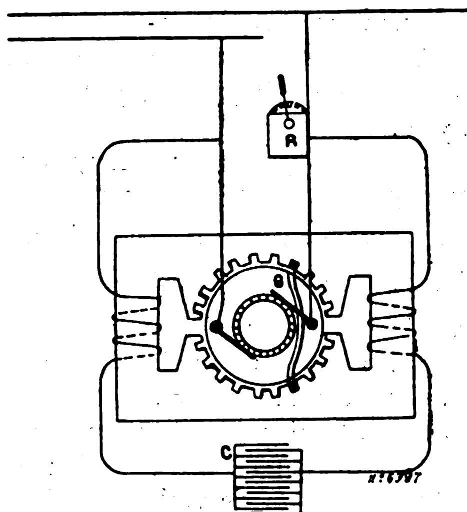


Fig. 9. — Schéma du moteur en dérivation de Stanley et Kelly.

Un second inconvénient réside dans la grande self-induction des machines par suite du grand nombre de spires des circuits inducteurs. Pour les moteurs en série, un courant déwatté (magnétisant) très considérable est nécessaire pour aimanter le circuit magnétique coupé par deux entrefers importants. Il en résulte que ces moteurs n'ont qu'un facteur de puissance généralement inférieur à 0,70 et qui s'abaisse d'ordinaire bien davantage.

Un décalage des balais opéré pour que le courant induit réagisse sur le courant inducteur ne saurait modifier cet inconvénient, puisqu'il ne change pas le nombre *résultant* d'ampèretours magnétisants nécessaires pour l'obtention d'un champ donné.

Le même inconvénient se présente avec les moteurs excités en dérivation; dans ceux-ci, l'intensité du courant magnétisant pourrait bien être rendue moindre par l'emploi d'un plus grand nombre de spires excitatrices en fil fin, mais, comme la réactance du circuit d'excitation croît proportionnellement au carré de ce nombre de spires, il faudrait augmenter au delà des limites réalisables, la tension appliquée aux bornes proportionnellement à ce nombre, pour pouvoir réaliser la même force magnétomotrice, dans l'enroulement; par exemple, le moteur en dérivation de Stanley et Kelly, construit pour 100 volts à l'induit, aurait exigé 9000 volts aux bornes du fil fin.

On a proposé d'éviter ces inconvénients par l'emploi de condensateurs. C'est ainsi que les auteurs que nous venons de citer ont remplacé l'enroulement en fil fin par 250 tours en gros fil, mis en série avec un condensateur, aux bornes duquel la tension atteignait 750 volts (fig. 9); ils y gagnaient en même temps de supprimer le décalage entre le courant induit et le courant inducteur, dont on verra plus loin les inconvénients.

Digitized by Google

MM. Hutin et Leblanc ont proposé aussi l'emploi de condensateurs. Malheureusement ces appareils sont encore trop peu industriels pour rendre pratique un dispositif de ce genre.

Un autre procédé, imaginé par Eickemeyer, pour réduire la self-induction de l'induit, consiste à l'entourer de spires fermées dans des plans parallèles aux flux inducteurs, comme on le voit par exemple sur la figure 9. Ces spires n'étant pas traversées par le flux inducteur ne modifient pas celui-ci, mais elles tendent à étouffer les variations des courants d'armature dont le flux de réaction transversale les traverse directement; l'induit se comporte vis-à-vis d'elles, comme le circuit primaire d'un transformateur dont elles forment le circuit secondaire fermé sur lui-même; elles détruisent donc presque complètement la self-induction de l'induit, sans que la perte par échauffement soit bien notable si on leur donne une section suffisante. On remarquera que ce système de compensateur diffère complètement des amortisseurs Leblanc qui sont orientés de manière à être traversés par le flux inducteur, c'est-à-dire orientés horizontalement dans le cas de la figure.

Le compensateur a un second avantage, c'est d'empêcher la distorsion du champ et de faciliter, par suite, le calage fixe des balais; cette question des balais mérite d'être étudiée à part.

Etincelles aux balais. — L'analyse des forces électromotrices induites fait ressortir la difficulté principale d'emploi des moteurs à collecteur sur les courants alternatifs, à savoir la formation d'étincelles aux balais. En effet, les composantes ε_1 et ε_2 de la force électromotrice définie par l'équation (3) sont décalées entre elles de $\frac{\pi}{2}$ et ne peuvent, par conséquent, jamais s'annuler réciproquement comme l'ont cru certains auteurs; on ne peut donc trouver de zones neutres pour la commutation comme dans les machines à courant continu. Il en résulte qu'au moment où les balais touchent à la fois deux touches du collecteur, la section de l'induit qui y aboutit et se trouve mise en court-circuit, est soumise à un flux variable, même dans la position normale; le courant induit très intense qui en résulte donne lieu naturellement à de violentes étincelles au moment de la rupture du circuit par l'échappement des touches sous les balais.

Pour réduire l'effet destructif de ces étincelles, différents artifices ont été proposés en dehors de la multiplication des touches au collecteur qui reste toujours une nécessité commune à tous.

M. Blathy ajoute de grandes résistances dans les connexions entre les touches du collecteur et les sections de l'induit (dispositif imaginé autrefois par Edison), pour affaiblir l'intensité du courant pendant la mise en court-circuit. Ces résistances, une ou deux fois plus fortes que la résistance totale de l'induit entre balais, entraînent des pertes d'énergie et des échauffements assez considérables, mais leur action est efficace. M. Blathy ajoute d'autre part dans ses inducteurs des compensateurs à spires fermées semblables à ceux d'Eickemeyer ou de Stanley et Kelly, décrits ci-dessus et réduits à une seule spire, et il a décalé un peu les balais, ce qui établit une induction mutuelle entre la section court-circuitée et l'enroulement compensateur. Non seulement la distorsion du champ est ainsi supprimée, mais les étincelles sont très réduites, comme le montre l'expérience. Enfin un autre artifice avantageux consiste dans l'emploi de balais en charbon à grandes résistances, ou de balais à résistances graduées, du type proposé par MM. Hutin et Leblanc (fig. 10), dans lesquelles plusieurs lames métalliques isolées par des feuilles de mica, sont reliées à leurs extrémités postérieures par des résistances. Celles-ci s'introduisent progressivement dans le circuit avant la rupture. C'est grâce à ces deux artifices que la maison Ganz,

Digitized by Google

en Hongrie, et le Creusot, en France, peuvent construire des moteurs Blathy de 1 à 5 chevaux, présentant un fonctionnement suffisamment pratique. Ces moteurs, qui sont employés surtout pour les ascenseurs, sont à quatre pôles (fig. 11) et tournent à des vitesses moyennes comprises entre 1 800 tours pour les plus petits et 1 200 pour les plus gros.

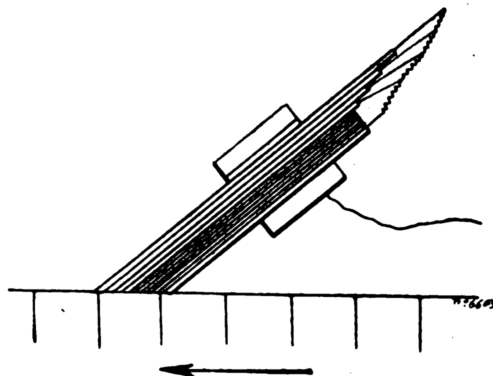


Fig. 10. — Balai à résistance graduée de Hutin et Leblanc.

MM. Hutin et Leblanc ont proposé une autre disposition pour supprimer les étincelles qui est une application des induits à deux circuits de Weston. Comme le montre la figure 12 on répartit le bobinage en deux circuits fermés au lieu d'un. Un premier groupe étant formé des sections paires et un second groupe des sections impaires, on fait alterner les jonctions des deux induits avec le collecteur, qui a autant de touches que de sections. Pendant la rotation, les balais se trouvent alternativement en relation avec un seul circuit (position AB) ou avec les deux circuits en parallèle (position A'B'), et jamais ils ne peuvent mettre en communication les deux extrémités d'une même bobine, parce qu'on leur donne une largeur trop faible pour qu'ils puissent toucher plus de deux touches à la fois.

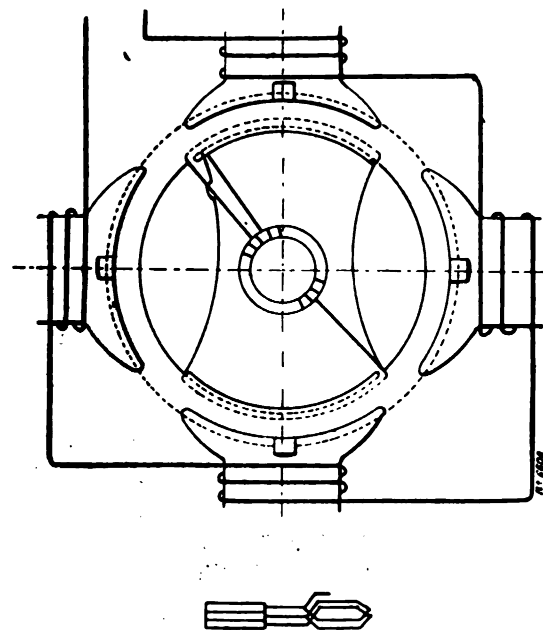


Fig. 11. — Schéma du moteur Blathy à 4 pôles du Creusot.

La mise en court-circuit des sections n'ayant plus lieu, il n'y a plus de courants exagérés ni d'étincelles de rupture ; au moment où les balais quittent un des circuits, il y a bien un petit échange d'énergie, mais on peut le réduire autant qu'on veut en multipliant les lames aux collecteurs et ajoutant au besoin un écran magnétique entre les cornes polaires ([1]). L'emploi de balais à résistances graduées permettrait du reste d'affaiblir le courant avant de le rompre ; les données de l'expérience manquent sur ce moteur.

Malgré tout, les moteurs à collecteur sont peu répandus, et on ne doit considérer jusqu'ici (1899) leur emploi que comme exceptionnel ; ils ont cependant pris la place des moteurs synchrones auto-excitateurs de Ganz pour les petites puissances, dans les applications à démarrages fréquents.

Il nous reste à examiner avec plus de détails les conditions de fonctionnement des moteurs à collecteur. Nous nous placerons dans le cas pratique ordinaire : celui où ils sont alimentés par un réseau à potentiel constant.

([1]) Pour plus de détails, voir *La Lumière Électrique*, 10 juin 1893, p. 753 : Le moteur de MM. Hutin et Leblanc par F. Guilbert. Ces affirmations au sujet de la bonne commutation sont de MM. Hutin et Leblanc. La pratique ne m'a pas paru les confirmer complètement.

Digitized by Google

Fonctionnement du moteur en série. — Considérons d'abord le cas le plus simple, celui d'un moteur bipolaire. Si l'on suppose les balais calés à la ligne neutre, l'induit n'a pas de réaction directe, mais seulement une réaction transversale. Il a en outre une certaine self-induction due aux fuites magnétiques ; le flux correspondant peut être englobé avec celui de la réaction transversale. Nous appellerons l le coefficient de self-induction totale apparente qui en résulte.

L'inducteur et le circuit induit compris entre les balais n'ont aucune induction mutuelle tant que leurs flux sont dirigés à angle droit. Ce n'est pas à dire que l'inducteur et les bobines de l'induit isolément n'aient une induction mutuelle, d'après ce qui précède, mais à chaque bobine correspond une bobine symétrique parcourue en sens inverse par un courant égal et traversée en sens inverse par un même flux, de sorte que la *somme* des forces électromotrices dues à ces inductions mutuelles est finalement nulle aussi bien pour l'induit que pour l'inducteur.

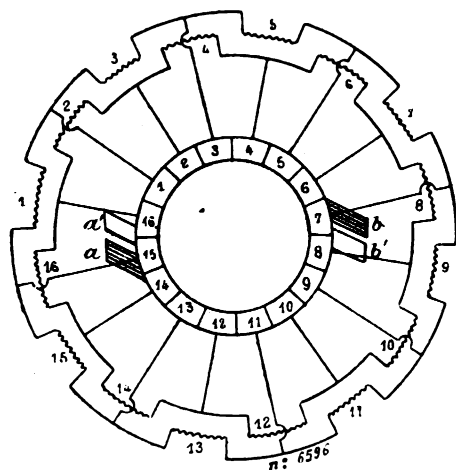


Fig. 12. — Moteur Hutin et Leblanc. Enroulement double de l'armature,

Quand les balais ne sont pas calés à la ligne neutre, cette compensation exacte n'existe plus et une partie des spires n'est plus compensée. Ces spires sont comprises dans l'angle formé par la ligne des balais et par la ligne symétrique par rapport à l'axe neutre. On voit donc que décaler les balais équivaut à augmenter ou diminuer le nombre de spires agissant sur le circuit inducteur ; comme dans un moteur série à courant continu, on renforce l'action des ampères-tour inducteurs quand on cale les balais en avant, on l'affaiblit quand on les décale en arrière. En pratique, le décalage est utilisé dans les moteurs Blathy pour réduire les étincelles aux balais.

Notations des inductances dans un moteur à collecteur. — Nous serons amenés, tout en rapportant nos raisonnements aux flux, à introduire, à titre seulement de simplification de l'écriture, une notation d'inductances propres et mutuelles, qu'il convient d'expliquer préalablement.

Cette notation rentre dans celles que j'ai eu occasion d'employer déjà dans de précédents mémoires [1], mais les valeurs des coefficients sont différentes. Soit I l'intensité efficace d'un courant, E une force électromotrice efficace, Φ un flux total. Considérons d'abord un stator cylindrique, $\mathcal{R}$ la réluctance magnétique.

J'appellerai K_1 et K_2 les coefficients d'utilisation des ampères-tours de l'inducteur et de l'induit, c'est-à-dire ceux qu'il faut introduire pour obtenir les flux produits par les enroulements, au moyen de la formule type

$$\Phi = \frac{2\pi K_1 N_1 I \sqrt{2}}{\mathcal{R}},$$

dans laquelle N désigne le nombre de *fils périphériques* d'un stator à bobinage continu ou d'un rotor. (Beaucoup d'auteurs négligent à tort ces coefficients qui sont cependant indispen-

[1] Propriétés des champs tournants et Effet des fuites magnétiques dans les moteurs à champ tournant (*L'Éclairage Électrique*, 1895).

Digitized by Google

sables.) Si les enroulements des deux pôles d'un champ inducteur sont en série, on peut admettre $K = \frac{1}{2}$; s'ils sont en parallèle ou si le courant dans les fils est moitié moindre, cela équivaut à faire $K = \frac{1}{4}$ sans changer I total. De même nous appellerons k_1 et k_2 les coefficients d'utilisation des fils périphériques, inducteurs et induits, pour la production de la force électromotrice, calculée par la formule type :

$$E = \frac{\Omega k N \Phi}{2\sqrt{2}}.$$

Si on admet la répartition sinusoïdale pour le flux inducteur avec bobinage complet du stator en série, on aura $k_1 = \frac{2}{\pi}$ (k_1 sera plus grand si une partie seulement des encoches est utilisée). De même pour le rotor bobiné en parallèle $k_2 = \frac{1}{\pi}$.

Cela posé nous pourrons écrire comme il suit les valeurs des inductances propres et mutuelles (pour un champ double de l'inducteur et de l'induit).

$$L_1 = \frac{2\pi K_1 k_1 N_1 \nu_1}{\mathcal{R}}$$

$$L_2 = \frac{2\pi K_2 k_2 N_2 \nu_2}{\mathcal{R}}$$

$$M_0 = \frac{2\pi K_1 k_2 N_1 N_2}{\mathcal{R}} = \frac{2\pi K_2 k_1 N_1 N_2}{\mathcal{R}},$$

en appelant ν_1 et ν_2 les coefficients de Hopkinson pour les deux enroulements. On en déduit, comme dans les moteurs d'induction,

$$\frac{M_0^2}{L_1 L_2} = \frac{1}{\nu_1 \nu_2} = 1 - \sigma_0$$

$$\sigma_0 = 1 - \frac{M_0^2}{L_1 L_2},$$

en appelant σ_0 le « coefficient de fuite » du moteur, quand les axes des champs coïncident. Comme on le verra plus loin, le coefficient de fuite effectif variera avec le calage des balais, car on sait que décaler ceux-ci d'un angle β à partir de la ligne d'axe du champ inducteur réduit dans le rapport $\sin\beta$ la force électromotrice produite par un flux réparti sinusoïdalement suivant l'hypothèse ordinaire. L'induction mutuelle correspondante à ce décalage est donc

$$M = M_0 \sin\beta;$$

d'où

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_1 L_2} = 1 - \frac{(M_0 \sin\beta)^2}{L_1 L_2} = 1 - (1 - \sigma_0)\sin^2\beta.$$

Dans le cas d'un moteur à inducteur muni de pôles saillants, sur lesquels sont placées des bobines comme dans un moteur à courant continu, les coefficients K_1 et k_1 doivent être modifiés. Le plus simple dans ce cas est de représenter par N_1 un nombre de *spires* (au lieu de fils) et de faire K_1 et k_2 égaux à l'unité. Les expressions ci-dessus deviennent alors (car rien n'est changé au rotor).

$$L_1 = \frac{4\pi N_1^2 \nu_1}{\mathcal{R}}$$

$$L_2 = \frac{2\pi k_2 K_2 N_2^2 \nu_2}{\mathcal{R}}$$

$$M_0 = \frac{4\pi N_1 k_2 N_2}{\mathcal{R}} = \frac{2\pi K_2 N_2 N_1}{\mathcal{R}}.$$

Digitized by Google

Nous définirons en outre dans les moteurs-série une autre self-induction auxiliaire. Tout cela est surtout notation *simplificative*.

Enfin nous appellerons l_1 et l_2 les self-inductances de fuites définies comme d'habitude.

II. — Théorie du moteur-série.

Equations du moteur-série. — Cela posé, la théorie du moteur en série est des plus simples. Il convient seulement de distinguer nettement le cas d'un inducteur à pôles de celui d'un stator à bobinage continu. Dans le second cas en effet, les self-inductances des deux parties du moteur sont indépendantes de leur orientation relative, c'est-à-dire du calage des balais, et on peut traiter par suite séparément les effets des inductances propres et de l'inductance mutuelle (qui, elle, varie avec le calage). Au contraire avec un inducteur à pôles, la réaction de l'induit modifie directement le flux inducteur par ses contre-ampères-tours, et les inductances transversale et de fuites, qui restent constantes dans certaines limites, doivent être traitées à part. Autrement dit, tandis que dans un moteur à stator cylindrique, la réaction d'induit donne lieu à un flux propre d'induit toujours *dirigé suivant la ligne des balais*, la réaction d'un moteur à pôles saillants tend à se faire sentir *plus particulièrement suivant le circuit magnétique inducteur*, dès que les balais s'écartent de la ligne neutre, parce que ce circuit est celui de moindre réluctance, et le reste de la réaction équivaut à une fuite magnétique de même axe que les ampères-tours de l'induit, plus une réaction transversale qui se ferme dans les pièces polaires ; en un mot la réaction d'induit du moteur à pôles doit se traiter suivant la méthode des deux réactions que j'ai fait connaître pour les alternateurs en 1899, et qui trouve ici une nouvelle application.

1° Nous considérons d'abord le *cas du moteur à stator continu*. Soit :

ω la vitesse angulaire, Ω la vitesse de pulsation, (le moteur étant ramené au type bipolaire),

I l'intensité efficace du courant,

Φ le flux inducteur que produit l'enroulement du stator seul,

U la tension efficace aux bornes du moteur,

φ le décalage entre ces deux variables,

β le calage des balais en arrière du sens de rotation,

L_1, L_2 et M respectivement les inductances propres et mutuelles (l'indice 1 désigne toujours l'inducteur et l'indice 2 l'induit ou rotor), les deux premières constantes, la seconde variable avec le calage des balais ;

N_1 et N_2 les nombres de *fils périphériques* du stator et du rotor,

K_1 et K_2 les coefficients d'utilisation des ampères-fils élémentaires,

k_1 et k_2 les coefficients d'utilisation des forces électromotrices élémentaires,

$K_1 N_1 I$ et $K_2 N_2 I$ les ampères-fils induits du stator et du rotor,

$\frac{1}{2} K_1 N_1 I$ et $K_2 N_2 \frac{I}{2}$ les ampères-tours producteurs de flux du stator et du rotor,

$\mathcal{R}$ la réluctance magnétique du circuit magnétique commun quand les axes des champs du stator et du rotor coïncident,

M_0 le coefficient d'induction mutuelle correspondant à cette orientation,

R la résistance totale ohmique du moteur.

La force électromotrice induite dynamiquement dans le rotor, c'est-à-dire par la rotation dans le champ, est produite par le champ du stator seul Φ

$$\Phi = \frac{2\pi K_1 N_1 I_1}{\mathcal{R}}$$

Digitized by Google

et a pour expression en valeur efficace, (comme on l'a vu, en supposant $k_2 = \frac{1}{\pi}$).

$$\varepsilon_1 = \frac{k_2 N_2 \Omega \cos\beta}{4\sqrt{2}} \Phi = \frac{\omega N_2 \cos\beta \Phi}{2\pi\sqrt{2}}$$

qu'on peut écrire aussi, d'après l'expression de M_0.

$$\varepsilon_1 = M_0 \omega I \cos\beta.$$

Quant à la force électromotrice ε_2 induite statiquement, elle a pour valeur

$$\varepsilon_2 = - M_0 \Omega I \sin\beta;$$

une autre force électromotrice égale est produite dans le stator par le rotor. Ces deux forces sont opposées aux forces électromotrices d'inductances propre du stator L_1 I et du rotor L_2I. A la tension ε_1 s'ajoute d'autre part la chute ohmique RI.

Finalement, nous pouvons écrire qu'il y a équilibre entre la tension U aux bornes et deux tensions intérieures, l'une en phase avec le courant lui-même

$$RI + \Omega M_0 I \cos\beta$$

l'autre en quadrature

$$\Omega (L_1 + L_2 - 2M \sin\beta) I = \Omega L' I,$$

en posant pour abréger

$$L' = L_1 + L_2 - 2M \sin\beta.$$

D'où l'équation entre U et I

$$U^2 = (RI + \Omega M_0 \cos\beta\, I)^2 + (\Omega L' I)^2$$

et par suite

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R + \frac{\omega}{\Omega} \Omega M_0 \cos\beta)^2 + \Omega^2 L'^2}}$$

Tout se passe comme si nous avions à faire à un appareil de self-inductance constante (variable d'ailleurs avec l'angle de calage β) et à résistance variable avec la vitesse et croissante avec elle.

Le couple moteur se déduit aussitôt de la connaissance du courant, car il est proportionnel au produit du flux utile (qui se réduit au flux inducteur seul) par les ampères-fils induits K_2 N_2 du rotor et par le cosinus du calage, d'où

$$C = k_2 N_2 \times \frac{2\pi K_1 N_1 I}{\mathcal{R}} \cos\beta = M_0 I^2 \cos\beta = M_0 \cos\beta \frac{U^2}{(R + \frac{\omega}{\Omega} \Omega M_0 \cos\beta)^2 + \Omega^2 L'^2};$$

on obtiendrait la même expression en divisant par la vitesse, la puissance utile égale au produit du courant par la force électromotrice en phase

$$P^u = - \varepsilon_1 I = M_0 \omega \cos\beta\, I^2 = \omega M_0 \cos\beta \frac{U^2}{(R + \frac{\omega}{\Omega} \Omega M_0 \cos\beta)^2 + \Omega^2 L'^2}$$

Enfin le facteur de puissance est le rapport de la force électromotrice en phase ε_1 à la force électromotrice totale, ou

$$\cos\varphi = \frac{R + \frac{\omega}{\Omega} \Omega M_0 \cos\beta}{\sqrt{(R + \frac{\omega}{\Omega} \Omega M_0 \cos\beta)^2 + \Omega^2 L'^2}}.$$

Digitized by Google

Ces expressions montrent que le décalage des balais en arrière diminue la self-inductance totale apparente, mais qu'il diminue aussi le couple et le facteur de puissance. Aussi s'écarte-t-on peu de la ligne neutre en général.

On voit en outre que le couple va en décroissant d'une matière continue avec la vitesse, tandis que le facteur de puissance va au contraire en croissant. Quant à la puissance utile, elle passe par un maximum pour la valeur qui rend minima l'expression P_u; d'où, différenciant par rapport à $\omega M_0 \cos \beta$ pris comme variable,

$$o = (R + \omega M_0 \cos \beta)^2 + \Omega^2 L'^2 - \omega M_0 \cos \beta \times 2 (R + \omega M_0 \cos \beta) ;$$

d'où la condition

$$R^2 + \Omega^2 L'^2 = \omega^2 M_0^2 \cos^2 \beta$$

et par suite

$$\max. P_u = U^2 \frac{\sqrt{R^2 + \Omega^2 L'^2}}{(R + \sqrt{R^2 + \Omega^2 L'^2})^2 + \Omega^2 L'^2},$$

c'est-à-dire que le maximun de puissance est atteint quand la réactance due à l'induction mutuelle égale l'impédance due à l'inductance et à la résistance.

Quand on néglige la résistance intérieure R devant l'inductance totale L', les équations précédentes se réduisent à

$$\Omega L' = \omega M_0 \cos \beta$$

$$P_u = \frac{U^2}{\left[1 + \left(\frac{\Omega}{\omega} \frac{L'}{M_0 \cos \beta}\right)^2\right] \omega M_0 \cos \beta}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\Omega}{\omega} \frac{L'}{M \cos \beta}\right)^2}}$$

$$\text{Max. } P_u = \frac{U^2}{2 \Omega L'}$$

et on voit que le facteur de puissance correspondant a pour valeur $\frac{1}{\sqrt{2}}$, c'est-à-dire que $\varphi = 45°$.

Le rendement théorique serait le rapport

$$\frac{P_u}{U I \cos \varphi} = \frac{\omega M_0 \cos \beta}{R + \omega M_0 \cos \beta}.$$

Mais en pratique il existe d'autres pertes, les pertes par hystérésis et courant de Foucault, qu'on peut écrire j_0 U (en appelant j_0 un courant de pertes équivalant) et les pertes par frottement W, de sorte que le rendement devient

$$\eta = \frac{\omega M_0 \cos \beta I - \frac{W}{U}}{(R + \omega M_0 \cos \beta) I + j_0}$$

et le facteur de puissance, qui semble ainsi s'améliorer (par une perte)

$$\cos \varphi = \frac{R + \omega M_0 \cos \varphi + j_0}{\sqrt{(R + \omega M_0 \cos \beta)^2 + \Omega L'^2}}$$

On voit aussi qu'en modifiant le calage, on ne modifie que la vitesse correspondant au

Digitized by Google

maximum de puissance, mais non la puissance maxima elle-même, ni le décalage du courant correspondant. Augmenter le calage augmente la vitesse, et il est facile de le comprendre, car cela diminue la self-inductance et exige par suite une force électromotrice induite dynamique plus grande pour équilibrer la tension aux bornes.

Graphiquement, les tensions et courants mis en jeu se représentent très facilement comme l'indique la figure 13.

Le vecteur du courant I étant dirigé, par exemple, suivant OB, ainsi que le flux inducteur qu'il produit, la force électromotrice induite par la rotation $\varepsilon_1 = M\omega \cos\beta\, I$ est en phase avec I et représentée par exemple par OD. La force électromotrice totale induite par induction mutuelle

$$\varepsilon_2 = 2 M_0 I \sin\beta$$

sera représentée par un vecteur décalé de $\pi/2$ en retard.

En ajoutant à ε_1 la perte ohmique RI, on a la tension totale en phase OB.

Au contraire la tension en quadrature s'obtient en portant en CA à partir de C, mais en sens inverse de ε_2, le vecteur CD représentant $\Omega\,(L_1 + L_2)\,I$. La différence BA sera ce que nous avons appelé $\Omega\,L'I$, la force électromotrice déwattée résultante.

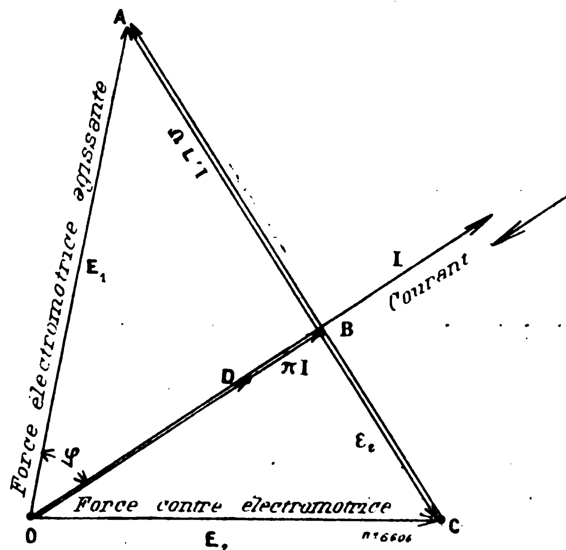


Fig. 13. — Composition des vecteurs dans le moteur-série.

En composant OB et BA, on obtient OA qui représente la tension totale agissante U. Celle-ci étant constante, on voit que le triangle OAB est caractérisé par le fait qu'il a un angle droit en B et une hypothénuse constante OA, de sorte que le point B se meut sur un cercle décrit sur OA comme diamètre.

Sur ce diagramme la puissance est proportionnelle au produit de OD par AB.

$$P_u = \frac{OD \times AB}{\Omega L'}.$$

2° *Le cas du moteur à pôles saillants* se ramène, comme on va le voir facilement, à des équations de même forme que les précédentes. Appelons en effet :

N_1 le nombre de *spires* inductrices par champ (c'est-à-dire que N_1 I seront les ampères-*tours* inducteurs produisant le flux) ;

N_2 le nombre de *fils* périphériques de l'induit ;

l_2 l'inductance *transversale* de l'induit, c'est-à-dire le coefficient de self représentant la self-induction due au flux qui se ferme transversalement à travers les pièces polaires.

l'_2 la self-inductance de l'induit correspondant aux fuites magnétiques qui se produisent autour de l'induit ;

l_1 la self-inductance des fuites de l'inducteur ;

(l_1 et l'_2 sont sensiblement constantes indépendamment de la position des balais);

$\mathcal{R}$ la réluctance magnétique du circuit magnétique *commun*, c'est-à-dire de celui qui

Digitized by Google

produit des forces électromotrices statiques dans l'induit et dans l'inducteur, *fuites non compris es;*

Φ le flux inducteur résultant de l'action des ampères-tours inducteurs N_1I diminué de la réaction directe de l'induit. C'est ce flux qui déterminera le couple moteur.

La *réaction directe* de l'induit peut être représentée par un produit K_2N_2 proportionnel au nombre de fils de l'induit et à un facteur K_2 qui dépendra du décalage β des balais. Nous supposerons ici pour simplifier que ce décalage est toujours assez faible pour que le diamètre de commutation ne vienne pas sous les pôles; dans cette hypothèse on peut prendre très sensiblement $K_2 = \frac{\beta}{2\pi}$, parce que les ampères-tours antagonistes de l'induit varient proportionnellement au nombre de *spires* démagnétisantes, c'est-à-dire à $\frac{2\beta}{\pi} \times \frac{N_2}{4}$, puisqu'il y a $\frac{N_2}{2}$ spires parcourues par un courant $\frac{I}{2}$.

Le flux inducteur Φ aura donc comme expression :

$$\Phi = 4\pi \frac{N_1 - K_2 N_2}{\mathcal{R}} I \sqrt{2}$$

et il induira dans le rotor une force électromotrice statique

$$e_2 = -\frac{\Omega k_2 N_2 \Phi}{2\sqrt{2}}$$

En désignant par k_2 le coefficient d'utilisation des fils soumis à l'induction, lequel dépend de la répartition du flux dans l'entrefer, et du calage des balais. k_2 sera compris ordinairement entre $\frac{2\beta}{\pi}$ et $\frac{2 \sin \beta}{\pi}$, valeur qu'il aurait dans le cas d'une répartition du flux sinusoïdale.

Cette force électromotrice sera opposée à celle du réseau si le décalage a lieu en arrière, et de même signe s'il a lieu en avant. Elle se combinera avec une force électromotrice analogue produite par le même flux dans l'inducteur et ayant pour valeur

$$\frac{\Omega N_1 \Phi}{\sqrt{2}}$$

de sorte que, finalement, la force électromotrice d'induction statique totale, en y ajoutant les effets de la self-induction transversale et des fuites, aura pour valeur :

$$\frac{\Omega}{2}\left(N_1 - \frac{k_2}{2} N_2\right) \times \frac{4\pi (N_1 - K_2 N_2)}{\mathcal{R}} I + \Omega (l_2 + l'_2 + l_1) I$$

et sera décalée de $\frac{\pi}{2}$ en arrière du courant. Nous poserons pour abréger l'écriture

$$L = \frac{2\pi (N_1 - K_2 N_2)(N_1 - \frac{K_2}{2} N_2)}{\mathcal{R}}$$

$$L' = L + l_1 + l_2 + l'_2$$

D'autre part, la force électromotrice induite dynamiquement, c'est-à-dire par la rotation, sera en phase avec le flux et aura pour valeur comme précédemment

$$\frac{\omega k_2 N_2 \Phi}{2\sqrt{2}} \cos\beta = \frac{4\pi k_2 N_2 (N_1 - K_2 N_2) \cos\beta \, I}{2\sqrt{2}} = \omega M' I \cos\beta$$

Digitized by Google

en posant

$$M' = \frac{2\pi (K_1 - K_2 N_2) k_2 N_2}{\mathcal{R}}.$$

En combinant les deux composantes rectangulaires des forces électromotrices intérieures, la résultante est égale à la tension aux bornes U et nous obtenons ainsi la relation

$$(R + \omega M' \cos \beta)^2 I^2 + \Omega^2 L'^2 I^2 = U^2 ;$$

d'où en résolvant par rapport à I

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R + \omega M' \cos \beta)^2 + \Omega^2 L'^2}}.$$

On voit que cette équation est exactement de même forme que celle obtenue dans le cas du moteur à stator continu ; seuls les coefficients L' et M' diffèrent de leurs valeurs données dans le premier cas. Mais la discussion et les formules du couple, de la puissance et du facteur de puissance restent les mêmes.

La valeur de L' dépend du nombre de spires de l'inducteur et des contre-ampères-tours antagonistes, et par conséquent du calage des balais.

l_2 qui représente la réaction *transversale* est sensiblement indépendant du calage des balais, étant admis que, comme nous l'avons supposé, ils ne peuvent pas venir jusque sous le pôle ; cette inductance transversale peut se calculer aisément dans chaque cas suivant la disposition des encoches, le nombre de fils par encoche et l'entrefer. *Grosso modo*, on peut la déduire de la self-inductance totale L_2 calculée pour un induit semblable placé dans un stator continu, présentant le même entrefer, en réduisant cette self-inductance proportionnellement au carré du nombre de spires N'_2 placées sous le pôle, soit

$$l_2 = L_2 \times \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 ;$$

l_1 et l'_2 se calculeront comme les inductances de fuites ordinaires, c'est-à-dire de la même manière que dans un moteur d'induction asynchrone monophasé.

Nous n'écrirons pas de nouveau sous une forme développée les équations de I, C, P, cos φ ainsi obtenues, puisqu'elles se ramènent aux précédentes et laissent au moteur les mêmes propriétés, et nous passerons immédiatement à la représentation graphique des résultats ; on appliquera du reste le même diagramme (fig. 13), que pour le premier cas.

On remarquera que dans ce diagramme la partie OCB peut être désormais supprimée, puisque la force électromotrice d'induction ε_2 est désormais réunie aux autres forces électromotrices statiques du moteur. Nous emploierons donc dorénavant une seconde figure 14 semblable à la figure 13, mais dans laquelle les lignes OC et CB sont supprimées. Pour rendre plus faciles les comparaisons entre cette figure et celle que nous employons pour le moteur à répulsion, il sera bon de placer horizontalement la base OA qui peut représenter à volonté la tension aux bornes U ou le courant magnétisant correspondant, c'est-à-dire le courant capable de produire par induction statique une force électromotrice aux bornes E égale et opposée à U.

Diagramme circulaire. — Notre épure (fig. 14) qui reproduit en ODBA le triangle fondamental de la figure 13 permet de discuter plus facilement les conditions de fonctionnement à l'aide d'un diagramme circulaire analogue à celui des moteurs asynchrones. En effet, l'angle ABO étant droit, le point B décrit un cercle construit sur OA = U

****

Digitized by Google

comme diamètre. Or, si l'on joint AD, l'angle BAD qui a pour tangente

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{R}{\omega L'}$$

est constant ; le point D décrit donc un cercle construit sur AF comme diamètre (OAF triangle semblable à BAD) et qui diffère très peu du premier, car RI est petit. D'autre part, la tangente

$$AD = \sqrt{R^2 + (\omega L')^2} I = Z' I$$

est proportionnelle à I et peut servir à le mesurer à une échelle convenable, de même que

Fig. 14. — Diagrammme circulaire du moteur-série.

le flux inducteur Φ proportionnel à I ; tandis que la longueur OD, proportionnelle à ε_1, en donne de même une mesure à une échelle choisie en conséquence. La puissance est proportionnelle à l'aire OAD couverte de hachures et peut se représenter, par conséquent, par la hauteur DP de ce triangle, dont la base OA est constante.

D'autre part, le couple moteur, proportionnel au produit du flux Φ par les ampères-tours de l'armature peut se représenter (comme me l'a signalé récemment M. Bethenod, de Lyon) [1] par la projection AH de AB, car le produit MI^2 est proportionnel à $\overline{AB}^2$, et on sait que dans un cercle

$$\overline{AB}^2 = AH \times AO = AH \times \text{constante}$$

Enfin la vitesse angulaire est elle-même facile à représenter comme dans les moteurs asynchrones. Elle est en effet proportionnelle au rapport $\frac{\varepsilon_1}{\Phi}$ c'est-à-dire $\frac{OD}{AB}$ ou à $\frac{OD}{AD}$; il

(1) Ce jeune ingénieur avait trouvé de son côté un diagramme analogue dans le cas de $R = 0$.

Digitized by Google

suffit donc de tracer OQ tel que l'angle AOQ = angle constant ADO et le segment dO mesure le glissement à une échelle telle que

$$\frac{Od}{OA} = \frac{\varepsilon_1}{Z'I} = \omega \left(\frac{M \cos \beta}{\sqrt{R^2 + \Omega^2 L'^2}} \right).$$

Une fois le cercle ADO tracé (fig. 14), on n'a donc qu'à reconstituer pour chaque valeur de I ou de ω le triangle ADO pour connaître le régime correspondant et discuter les variations de ce régime. On voit, en particulier, que la puissance, nulle au démarrage et à une vitesse infinie, est maxima quand D vient en M, c'est-à-dire quand

$$\varepsilon_1 = OM = Z'I$$

Le facteur de puissance théorique $\cos \varphi$ varie en même temps de $\cos \gamma$ à 1 et prend pour la puissance maxima la valeur

$$\cos \varphi = \frac{OH}{OM}$$

qui diffère peu de 0,707.

Il est très faible au démarrage et n'est bon qu'à une faible charge, c'est un grand inconvénient. Le courant de démarrage

$$I_0 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L'^2}} = \frac{U}{Z'}.$$

est limité par la self-induction; mais aux faibles charges, la vitesse tend à croître beaucoup et le moteur s'emballe.

Le facteur de puissance est le rapport du courant watté au courant total

$$\xi = \frac{j + I \cos \varphi}{\sqrt{I^2 \sin^2 \varphi + (j + I \cos \varphi)^2}}.$$

Il est donc toujours plus grand que $\cos \varphi$, lequel a pour valeur

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\Omega L'}{\omega M_0 \cos \beta} \right)^2}}.$$

Cette dernière expression montre que ce facteur de puissance presque nul au démarrage ($\omega = 0$) ira en croissant constamment avec la vitesse et sera d'autant plus élevé que le rappor $\frac{\Omega L'}{\omega M_0}$ sera plus petit, c'est-à-dire la fréquence plus basse et le rapport des spires $\frac{N_1}{N_2}$ plus faible. On peut réduire ce dernier grâce aux compensateurs dont on a parlé plus haut; par exemple, M. Steinmetz a pu charger un moteur Eickmeyer à 20 spires sur les inducteurs et 96 sur l'induit jusqu'à ce que les ampères-tours induits soient 2, 4 fois les ampères-tours inducteurs.

En outre la puissance disponible maxima $\frac{U^2}{2RL'}$ croît rapidement quand on abaisse la fréquence.

M. Moulin qui a fait d'intéressantes études sur les moteurs Blathy aux usines du Creusot a traduit ses résultats expérimentaux sous forme de courbe [1] dont la figure 15 reproduit

[1] *L'Éclairage Électrique*. 1898, t. XVII, p. 51.

Digitized by Google

une partie et qui font connaître les conditions pratiques de marche de ces moteurs dans leurs limites normales de fonctionnement. Les résultats expérimentaux sont en bonne concordance avec les résultats calculés par le même auteur suivant des formules moins complètes que les précédentes.

Dans la pratique, les moteurs ont 4 pôles et sont bobinés en tambour, en série (fig. 11); chaque champ n'est magnétisé que par la moitié du nombre des spires inductrices; les équations restent donc les mêmes à condition d'appeler Φ le flux total émané des deux pôles de même nom, et de remplacer l'expression de L par la moitié seulement, parce que chaque champ ne donne lieu qu'au quart de la self-induction correspondant au nombre total des spires, mais que les deux champs sont montés en série.

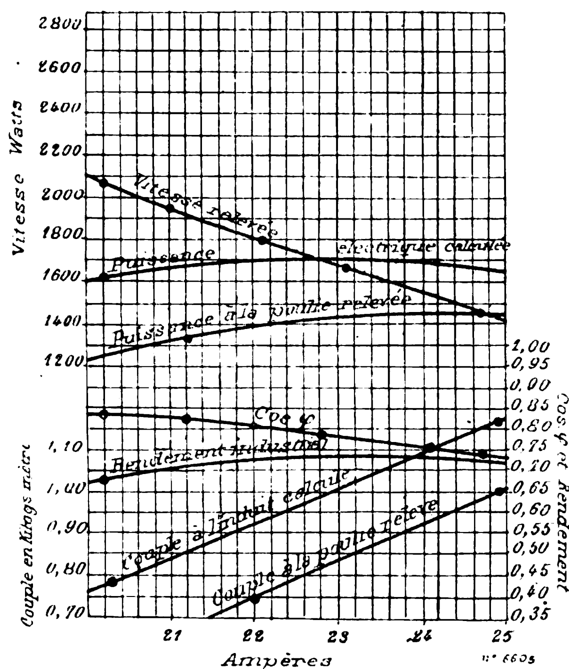


Fig. 15. — Courbes de fonctionnement expérimentales des moteurs-série.

Moteurs en dérivation. — Il est beaucoup plus difficile de faire un moteur monophasé à collecteur excité en dérivation, par suite du décalage de phase considérable $\left(\text{presque } \frac{\pi}{2}\right)$ qui s'établit entre force électromotrice aux bornes et le courant inducteur. Au moment du démarrage le décalage étant également très grand dans l'armature, la force électromotrice induite est à peu près en phase avec le courant; mais sous l'influence de vitesse croissante, la différence s'accentue. Il est facile de voir du reste que le courant pour produire un travail utile doit se rapprocher de la phase de la force électromotrice appliquée aux bornes, c'est-à-dire se mettre en quadrature avec le courant inducteur. Pour tirer le meilleur parti de ce moteur, il faudrait pouvoir l'alimenter par des courants diphasés, en utilisant la force électromotrice en avance pour l'excitation et l'autre pour le courant d'armature.

On peut aussi avec une seule force électromotrice ramener le courant d'excitation à être en phase concordante par l'introduction d'une capacité dans le circuit d'excitation, comme on l'a vu plus haut. Malheureusement, l'équilibrage de la capacité et de la self-induction est difficile à maintenir parfait quand la fréquence varie un peu, car il doit satisfaire à la relation connue

$$\Omega^2 LC = 1$$

Il n'est donc pas intéressant de refaire avec détails la théorie de fonctionnement des moteurs shunt.

Avantages et inconvénients des moteurs-série. — D'après ce qui précède on voit que les avantages des moteurs-série se résument dans la simplicité de la construction, la possibilité du démarrage avec un couple maximum, qui est du même ordre que celui des moteurs à courant continu et la variation de la vitesse dans de grandes limites; ces moteurs sont réellement asynchrones. Grâce à la self-induction, le courant maximum à l'arrêt

Digitized by Google

prend une valeur moins dangereuse qu'en courant continu. Enfin on peut ajouter comme avantage la possibilité de remplacer dans le circuit, pour le réglage de la vitesse, les résistances mortes employées en courant continu par des résistances inductives ou par un transformateur à rapport de transformation variable ; ce qui permet de supprimer une cause de perte importante d'énergie.

Par contre ces moteurs présentent de graves inconvénients :

1° Le démarrage sous charge se fait avec un décalage déplorable; à toute allure, sauf aux faibles charges, le facteur de puissance reste assez mauvais.

2° Les variations de vitesse avec la charge sont considérables.

3° Il y a une tendance aux étincelles aux balais, que rien ne vient atténuer, si l'on ne recourt à des artifices (du genre de ceux indiqués) qui sont ordinairement imparfaits et qui entraînent, en tout cas, des pertes d'énergie.

4° La nécessité de feuilleter les tôles de toute la carcasse entraîne des sujétions de construction plus grandes qu'en courant continu (elles sont cependant comparables à celles des autres moteurs à courant alternatif).

5° L'utilisation spécifique est forcément plus faible qu'en courant continu, à cause de la nécessité où l'on se trouve de réduire beaucoup les inductions dans la carcasse inductrice pour ne pas trop augmenter les pertes. Celles-ci entraînent d'ailleurs un moins bon rendement qu'en courant continu.

6° Toute augmentation de l'entrefer entraîne une augmentation de la self-induction de fuites, et ne permet donc pas en général d'employer des entrefers aussi grands qu'en courant continu, malgré l'intérêt qu'ils présentent pour éviter ces frottements entre induit et inducteur après usure des coussinets.

7° Le collecteur ne permet pas l'emploi de tensions élevées dans l'alimentation de ces moteurs, et leur crée par suite une infériorité par rapport aux moteurs à induit fermé.

(*A suivre.*) A. Blondel.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

DE LA LIGNE DES INVALIDES A VERSAILLES

I. Préliminaires

Historique. — Le mouvement considérable et toujours croissant des voyageurs entre les grandes villes et leur banlieue a conduit les compagnies de transport à multiplier et à accélérer sans cesse les moyens de communication sur ces parties de leurs réseaux. Dans les pays neufs, où tout est à créer, on a pu adopter les procédés de transport les plus modernes, et c'est ainsi que la traction électrique s'est répandue en Amérique avec une extraordinaire rapidité pour les lignes métropolitaines et suburbaines. Il n'en est pas de même en Europe ; on ne peut en effet transformer du jour au lendemain des organisations depuis longtemps existantes, et, avant de créer des moyens nouveaux, on cherche à tirer des procédés anciens le meilleur parti possible. Aussi la traction électrique, qui procure des facilités si grandes aux lignes à trafic intense, en est-elle encore à ses débuts de ce côté de l'Atlantique pour les trains de chemin de fer.

Toutefois son application préoccupe depuis longtemps les ingénieurs. Il y a une dizaine

Digitized by Google

d'années, sur l'initiative de M. Clérault, à cette époque ingénieur en chef du matériel et de la traction, et avec le concours de M. Mazen, ingénieur du service électrique, la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest a mis à l'étude la traction électrique sur son réseau de banlieue, le plus important de la région parisienne. Il ne pouvait être question, surtout à cette époque, d'adopter immédiatement le nouveau mode de traction pour l'ensemble des lignes suburbaines. Les premiers projets, très étudiés, furent établis en vue de la ligne d'Auteuil, celle qui, par l'importance de son trafic, justifiait le mieux l'emploi de l'électricité. Mais, peut-être en raison même de cette importance et des difficultés de transformer une ligne en pleine exploitation, ce projet n'aboutit pas.

Entre temps, pendant les années 1895 à 1898, des essais furent faits entre Saint-Germain-Ouest et Saint-Germain-Grande-Ceinture, avec le concours de la Société de moteurs électriques et à vapeur; les résultats satisfaisants de ces essais engagèrent la Compagnie de l'Ouest à adopter la traction électrique sur la ligne alors à l'étude des Invalides à Versailles. On se trouvait ainsi en présence d'une ligne nouvelle que l'on pouvait organiser complètement en vue du nouveau mode de traction et, de plus, il faut reconnaître que l'emploi de l'électricité sur cette ligne se justifiait par des considérations spéciales tenant à son tracé. La ligne traverse en effet un long souterrain en rampe continue de 8 mm par mètre. Au début, aucun puits n'était prévu pour l'aération de ce souterrain, et l'on pouvait craindre que la ventilation naturelle fût insuffisante pour évacuer la fumée produite par des trains à vapeur fréquents, dont la moitié marchent avec leur régulateur ouvert en grand pour franchir la rampe. En outre de l'incommodité qui résulte pour le personnel et pour les voyageurs de l'accumulation de la vapeur et des gaz des foyers, le nuage produit peut être assez dense pour rendre invisibles les signaux, même à faible distance. On aurait pu prendre des dispositions spéciales pour la traversée du tunnel; l'emploi de locomotives à condensation avait même dans ce but été mis à l'étude; mais les essais faits dans cette voie furent très peu satisfaisants, et cette solution fut écartée; on n'eut pas à s'en plaindre, car l'expérience de ce mode de traction faite en service courant pendant quelques mois, au début de l'Exposition de 1900, entre les Invalides et le Champ-de-Mars, cependant avec des machines qui se prêtaient particulièrement bien à cette adaptation, en raison du grand volume de leurs caisses à eau, ne fit que confirmer les inconvénients de ce système. De plus, le souterrain de Meudon n'était pas la seule partie de la ligne offrant des difficultés de ventilation; car, sans parler de la tranchée longeant la Seine à l'intérieur de Paris, et qui fut couverte pendant près de trois ans par les constructions de l'Exposition universelle, la gare des Invalides avec son plafond malheureusement très bas ne pourrait recevoir sans inconvénient un trop grand nombre de locomotives à vapeur. Ces difficultés spéciales ont paru suffire à elles seules à justifier l'adoption de la traction électrique dont on espérait d'ailleurs retirer des avantages importants au point de vue de la commodité d'exploitation.

Nous avons insisté particulièrement sur les motifs qui ont amené la Compagnie de l'Ouest à exploiter électriquement la ligne des Invalides à Versailles parce que nous pensons que ce seront encore pendant longtemps des considérations particulières au trafic ou au tracé des lignes qui détermineront les Compagnies à choisir ce genre de traction. Il y aurait certainement intérêt à remplacer d'une manière générale la traction à vapeur par la traction électrique; mais cette substitution qui, au point de vue technique, ne présenterait plus à l'heure actuelle de bien grandes difficultés, conduirait à des dépenses de premier établissement extrêmement considérables.

Il est donc à prévoir que l'on cherchera à tirer de la locomotive à vapeur tout ce qu'elle peut donner jusqu'au jour où il sera bien démontré qu'elle a subi son ultime perfectionne-

Digitized by Google

ment et qu'il est nécessaire d'adopter une solution nouvelle pour satisfaire aux exigences toujours croissantes du public [1].

Choix du système de distribution. — A l'époque où fut étudiée l'application de la traction électrique à la ligne des Invalides à Versailles, un seul système de traction par conducteur avait fait ses preuves : c'était celui qui utilise le courant continu à 500 volts environ avec prise de courant par fil aérien ou troisième rail et retour par la voie courante. Les essais de Saint-Germain avaient d'autre part montré que, pour des trains de chemins de fer à fort tonnage, le fil aérien, si avantageux pour les tramways, présentait des inconvénients graves, aussi bien au point de vue de la captation du courant que de l'installation de la ligne et de sa conservation, lorsque des trains à vapeur seraient appelés à circuler concurremment avec les trains électriques. Les essais de troisième rail avaient au contraire donné toute satisfaction. Le rail central, plus facile à installer que le rail latéral puisqu'il n'exige pas l'allongement des traverses, dut être rejeté, à cause surtout des dangers qu'il présente pour le personnel chargé de l'accrochage des voitures. En outre le rail central ne peut être placé très haut pour rester écarté des parties basses des locomotives. On ne peut donc lui assurer un aussi bon isolement qu'au rail latéral, qui peut être plus facilement surélevé.

Pour alimenter le rail conducteur on ne pouvait songer à installer une usine centrale unique fournissant directement le courant à 500 volts. Le développement de la ligne aurait en effet exigé l'installation de feeders d'une section considérable. L'emploi de plusieurs usines aurait été fort onéreux. Le système d'une usine centrale à haute tension avec sous-stations de transformation réparties le long de la ligne s'imposait donc. Ce système est maintenant de pratique courante, mais à l'époque il était absolument nouveau, en Europe tout au moins. Le courant triphasé était définitivement entré dans la pratique ; il fut adopté pour la distribution à haute tension. La tension de 5 000 volts fut choisie pour diverses raisons. En premier lieu, elle s'adaptait suffisamment bien aux distances à franchir au point de vue des sections de câbles nécessaires ; de plus, on ne pouvait guère chercher à la dépasser parce que l'emploi de câbles souterrains s'imposait absolument, au moins pour une grande partie du réseau à haute tension, en particulier pour la section de la ligne comprise dans l'intérieur de Paris et pour la traversée du souterrain de Meudon. Or, à cette époque, l'expérience n'avait pas encore sanctionné l'emploi de tensions supérieures à 5 000 volts dans les câbles souterrains. Il eût été téméraire de tenter l'essai pour une installation aussi importante.

Pour les sous-stations, comme on ne construisait pas encore de redresseurs de grande puissance, on avait le choix seulement entre les commutatrices et les groupes moteur-générateur. Ces derniers, lorsque le moteur est asynchrone, présentent des avantages assez importants pour l'exploitation. Ils sont d'une mise en marche facile, n'exigent pas de mise

---

[1] Peut-être bien des ingénieurs de chemins de fer, qui ont éprouvé la difficulté d'accroître au delà des limites actuelles la puissance des locomotives à vapeur, toujours à bout de souffle, quoi qu'on fasse, attendent-ils la solution de ce problème, toujours posé, d'appareils de traction emportant avec eux leur énergie et permettant ainsi une transformation progressive de la traction actuelle.

Malgré notre sympathie pour les systèmes de traction électrique à contact glissant, qui permettent aujourd'hui de réaliser des programmes que ne pourrait remplir la traction à vapeur, nous ne pensons pas qu'ils doivent se généraliser d'une manière absolue.

Il restera certainement place dans l'avenir à des locomotives emportant avec elles leur réserve d'énergie et la transformant en travail mécanique d'une manière plus avantageuse que les locomotives actuelles. Les perfectionnements récents des moteurs thermiques permettent de considérer cette hypothèse comme admissible, et d'envisager comme possible dans des conditions avantageuses l'emploi de l'électricité comme intermédiaire pour transmettre le mouvement aux essieux.

Digitized by Google

en phase et ne risquent pas de se décrocher. Mais, d'autre part, leur rendement est inférieur à celui des commutatrices; ils sont plus encombrants et plus coûteux. Aussi l'emploi de ces derniers appareils prévalut-il.

Ce choix influa sur celui de la fréquence. Les commutatrices sont d'autant plus faciles à établir et fonctionnent d'autant mieux que la fréquence est plus basse. C'est pourquoi, pour se conformer d'ailleurs à une pratique américaine qui avait donné de bons résultats, on adopta 25 périodes par seconde. Cette basse fréquence est également avantageuse à un autre point de vue : elle permet d'alimenter des moteurs tournant à faible vitesse sans multiplier par trop le nombre de pôles. Toutefois elle n'est pas sans inconvénients ; en premier lieu, ainsi qu'il est facile de le prévoir, les différents appareils : alternateurs, transformateurs et moteurs sont d'autant plus lourds et coûteux que la fréquence est plus basse ; d'autre part les machines puissantes enroulées pour la haute tension peuvent avoir une capacité très grande lorsque le nombre de périodes par seconde est faible et cela n'est évidemment pas sans inconvénients lors des ruptures de courant.

Enfin la basse fréquence offrait encore naguère au point de vue de l'éclairage une source de difficultés qui ont été depuis peu très heureusement surmontées, comme nous le verrons plus loin.

Telles sont les bases sur lesquelles fut établi le programme que la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest présenta à l'approbation ministérielle en juillet 1898, et qui fut sanctionné par une décision du mois de septembre de la même année.

Ce programme comportait l'établissement d'une usine centrale de production d'énergie électrique aux Moulineaux, d'un réseau à haute tension, de 3 sous-stations de transformation pour la traction, réparties le long de la ligne, du rail conducteur de prise de courant, de 10 locomotives électriques, enfin de diverses installations annexes pour l'éclairage, la distribution de force motrice et l'épuisement des eaux.

L'établissement de l'Usine Centrale fut confié à la Compagnie générale de Traction et à la Société Westinghouse, les sous-stations à la Compagnie française Thomson-Houston, la voie électrique et les locomoteurs à la Société de Locomotion électrique, le réseau à haute tension à la Société française des Câbles électriques système Berthoud-Borel. On ne peut que déplorer que le défaut d'initiative trop commun dans l'industrie française, ait laissé tant de place dans ces installations à du matériel d'origine technique sinon de construction américaine.

Les travaux, exécutés par les soins de M. Masen sous la haute direction d'abord de M. Clérault, puis de M. Sabouret, furent commencés dès la fin de l'année 1898; l'achèvement complet en fut retardé par les difficultés inattendues que l'on rencontra dans le percement du tunnel de Meudon. La section des Invalides au Champ-de-Mars fut ouverte pour l'Exposition Universelle. A partir de juillet 1901 on fit le service jusqu'à Meudon ; enfin la ligne fut inaugurée définitivement jusqu'à Versailles le 1er juin 1902.

Description de la ligne. — Avant de passer en revue les différentes installations électriques de la ligne des Invalides à Versailles, il n'est pas inutile de donner quelques indications sur son tracé (fig. 1). Pour les détails à ce sujet, nous renverrons le lecteur aux articles très documentés qui ont été publiés dans les revues spéciales et en particulier à la note particulièrement intéressante que M. Rabut a fait paraître dans la Revue des Chemins de fer de juillet 1902.

Partant de la nouvelle gare des Invalides, la ligne gagne la station du Champ-de-Mars, au delà de laquelle se détache la ligne nouvelle de Saint-Lazare aux Invalides par Boulain-

Digitized by Google

villiers. A partir de cette bifurcation, elle emprunte jusqu'au delà de la halte de Javel, le tracé remanié à l'intérieur de Paris, de la ligne précédemment existante de Saint-Lazare au Champ-de-Mars par les Moulineaux. Elle traverse ensuite la plaine d'Issy sur un viaduc en maçonnerie; après la station d'Issy-ville, elle longe, tantôt en remblai, tantôt en viaduc, le côteau creusé en tous sens de carrières souterraines d'où l'on extrait le blanc de Meudon et, après avoir passé sous le viaduc du Val, elle atteint l'entrée du souterrain où se trouve la station de Meudon-Val-Fleury. Le souterrain, creusé sous le bois de Meudon, a un dé-

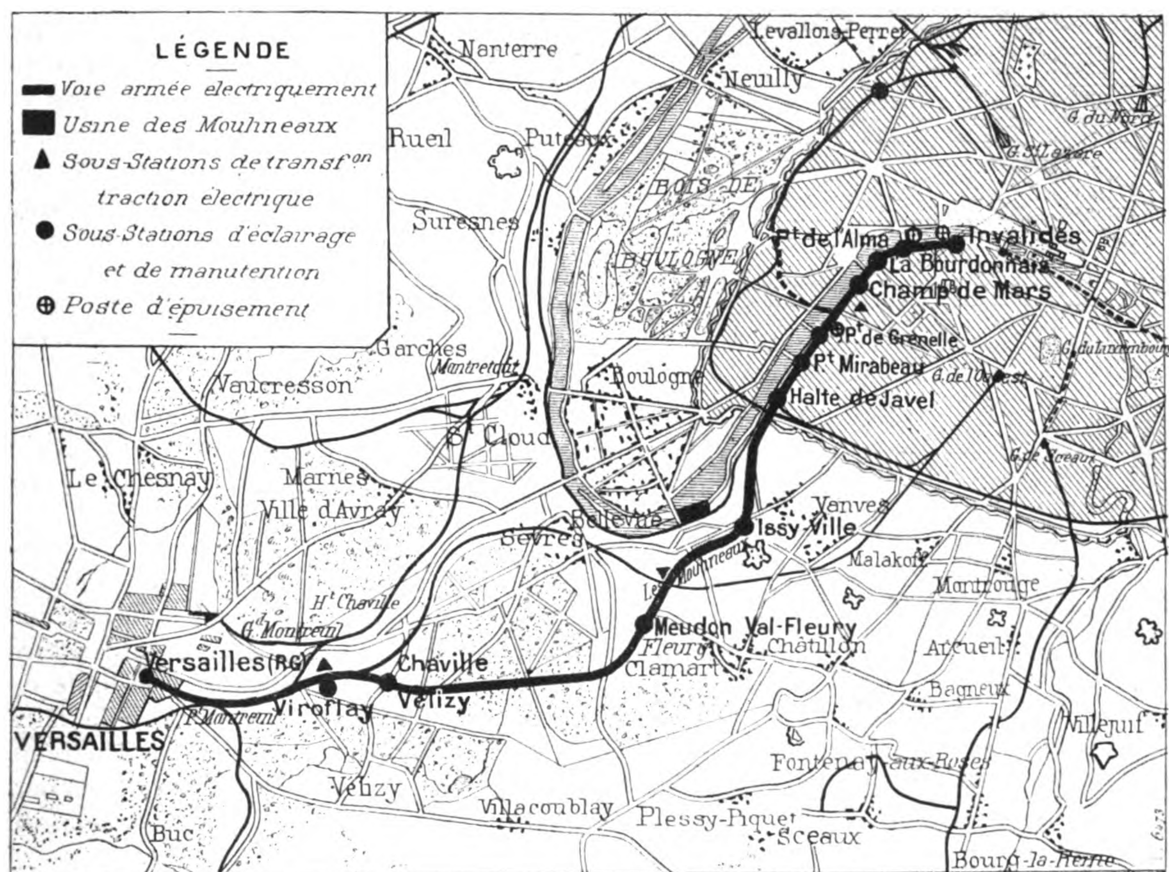


Fig. 1. — Plan de la ligne des Invalides à Versailles.

veloppement de 3 500 mètres. Il comprend dans sa première partie une courbe de 800 mètres environ de développement. Le reste est en alignement droit. Le débouché est à Chaville au voisinage de l'étang d'Ursine. Après avoir traversé la station de Chaville-Velizy, la ligne nouvelle passe sous les voies de la ligne de Montparnasse à Versailles rive gauche, qu'elle côtoie ensuite dans la traversée de Viroflay pour s'y raccorder à l'embranchement de Porchefontaine. Cet embranchement, qui comprend 4 directions, a été complètement remanié lors de la construction de la nouvelle ligne, de telle sorte qu'il ne comporte plus de traversée à niveau. On voit, d'après le profil en long (fig. 2), que la ligne est en rampe presque continue jusqu'à Versailles et que la déclivité atteint 10 mm par mètre dans une grande partie du parcours.

La ligne des Invalides à Versailles est intéressante à plus d'un point de vue. Pour l'ingénieur, elle a d'une part ses nombreux ouvrages d'art et, en particulier, le souterrain

Digitized by Google

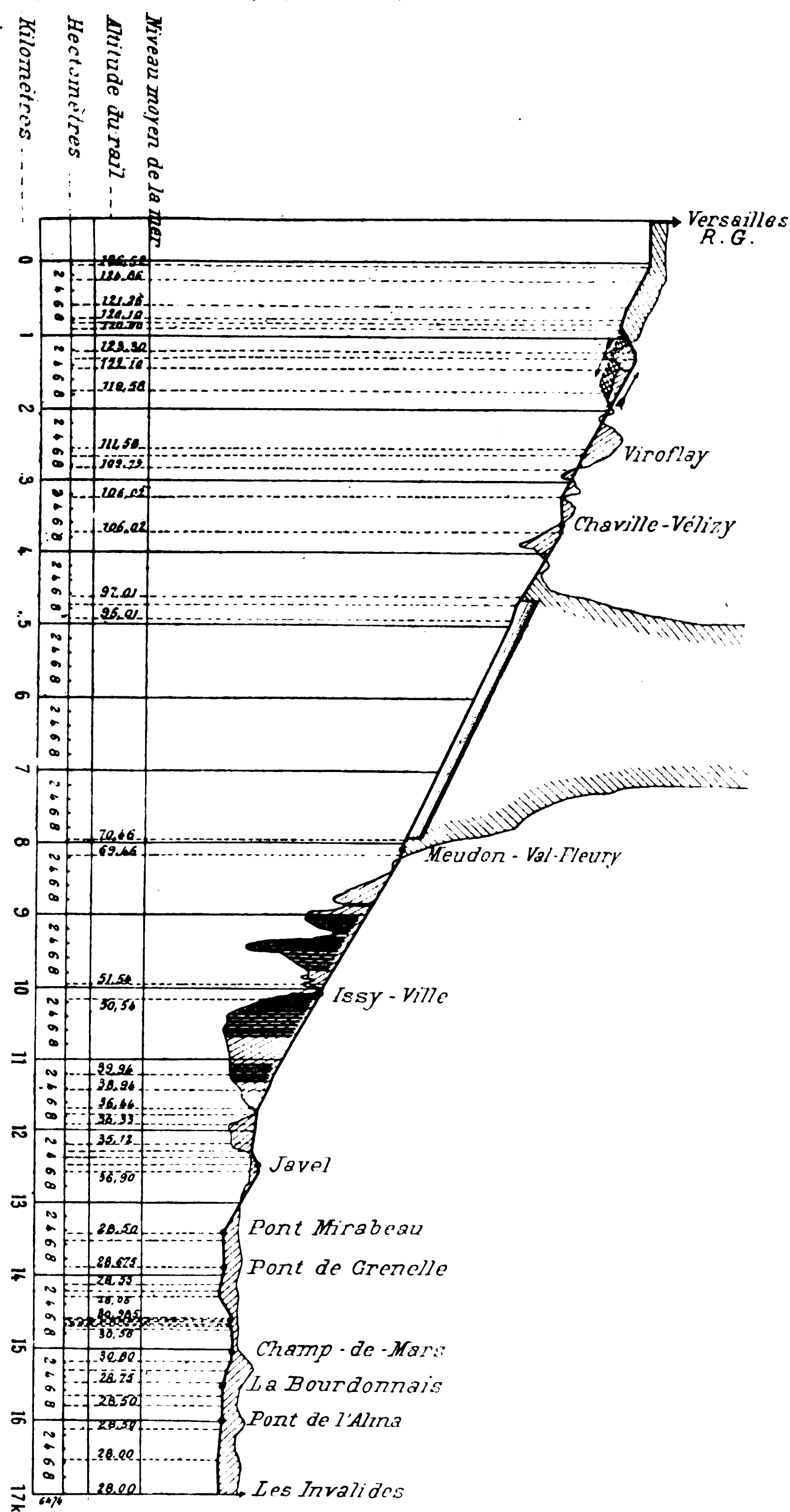


Fig. 2. — Profil de la ligne des Invalides à Versailles.

de Meudon, dont la construction a exigé des efforts considérables et l'application de procédés spéciaux, d'autre part ses installations électriques, qui marquent une date dans l'histoire de la locomotion Pour le public, elle a le pittoresque des localités traversées qui attire les dimanches et jours de fête un grand nombre de Parisiens ; en outre elle dessert des régions comme la plaine d'Issy d'une part et, d'autre part, des terrains appartenant aux communes de Chaville et de Viroflay qui pourront, grâce à la ligne nouvelle, recevoir des maisons d'habitation et offrir ainsi des débouchés nouveaux à l'expansion parisienne.

Enfin, grâce à l'embranchement de Porchefontaine qui raccorde les lignes des Invalides et de Montparnasse à Versailles avec la ligne de Brest, elle permet de faire partir des Invalides des trains de grandes lignes desservant les différentes directions du réseau de l'Ouest.

II. Usine centrale. Machinerie électrique.

L'usine centrale est établie sur un terrain situé entre la station des Moulineaux-Billancourt et le quai de Seine.

Elle comprend un bâtiment principal et plusieurs annexes séparés par des cours (fig. 3). Le bâtiment principal est à deux travées

Digitized by Google

affectées respectivement à la salle des machines et à la salle des générateurs. Il est construit en pans de fer avec remplissages en briques.

Salle des machines. — La salle des machines (fig. 4 et 5), a une longueur de 111 m et une largeur de 20 m. Ses fondations ont exigé des précautions spéciales. La partie la plus basse s'en trouve en effet à 2,50 m au-dessous du niveau des plus hautes eaux. Pour assurer l'étanchéité du sous-sol et en même temps donner à la construction une assise d'une solidité à toute épreuve, on a établi un radier général en béton armé. Le fond de ce radier se raccorde à des piédroits verticaux dont la partie supérieure supporte les ferrures métalliques de la charpente.

L'épaisseur du fond est de 1 m. Les piédroits ont en couronne une épaisseur de 0,80 m.

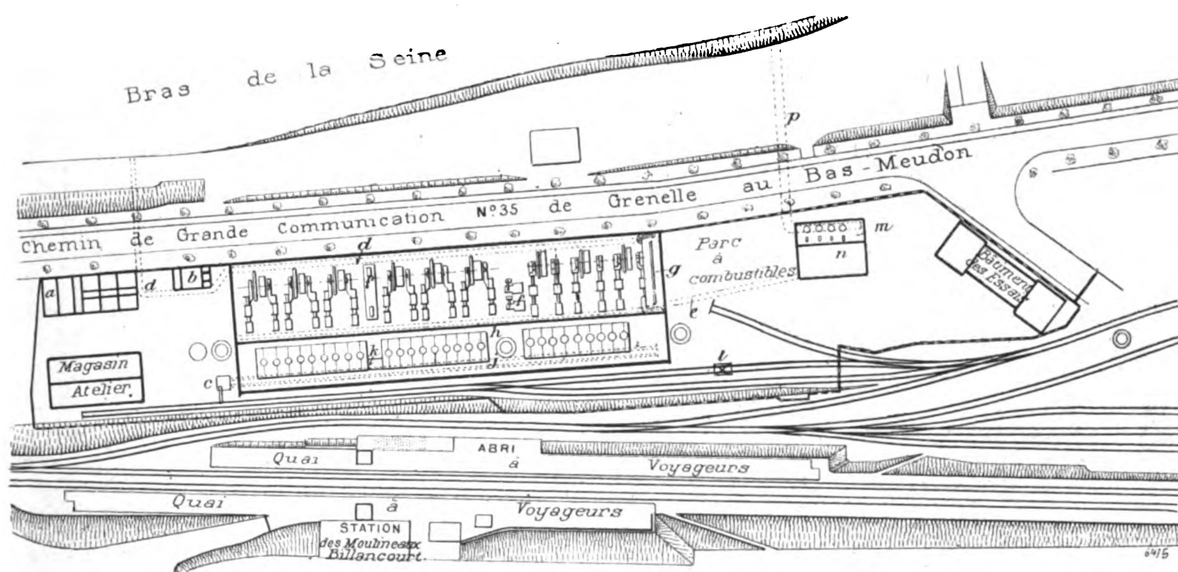


Fig. 3. — Usine des Moulineaux. Plan d'ensemble.

a, Bureaux; *b*, Lavabos; *c*, Elévateurs d'escarbilles; *d*, Collecteur et égout d'évacuation; *e*, Collecteurs d'amenée des eaux de condensation; *f*, Excitatrices; *g*, Tableau de distribution; *h*, Carneau à fumée; *j*, Carneau à escarbilles; *k*, Réservoir d'alimentation; *l*, Bascule; *m*, Salle des pompes; *n*, Réservoir de 300 m³; *p*. Canal d'amenée des eaux.

L'armature est constituée par deux grillages en fers ronds de 8 mm de diamètre espacés de 8 cm. Ces deux grillages, distants l'un de l'autre de 70 cm, sont réunis entre eux par des armatures de fer feuillard de 0,025 m × 0,002 m, espacées les unes des autres de 50 cm environ.

Groupes électrogènes. — Les groupes électrogènes sont au nombre de neuf, chacun d'une puissance normale de 800 kilowatts, définie par le cahier des charges en admettant un facteur de puissance de 0,9. En réalité les alternateurs, aussi bien que les machines à vapeur, très largement prévus, peuvent fournir, même en marche continue, une puissance notablement supérieure. Le nombre des groupes avait été primitivement fixé à cinq. Mais l'extension à neuf groupes fut décidée pendant la construction même de l'usine en vue de la fourniture de courant au chemin de fer et à la plateforme électrique de l'Exposition et aux tramways de l'Ouest Parisien.

Machines à vapeur. — Deux types de machines à vapeur se partagent l'usine des Mou-

Digitized by Google

lineaux. Les six premiers groupes sont en effet munis de machines Dujardin, les trois derniers de machines Garnier et Faure-Beaulieu.

Les machines Dujardin (fig. 6 et 7) sont à triple expansion à quatre cylindres par deux en tandem.

Comme dispositions générales, ces machines ne diffèrent pas de celle qui actionnait

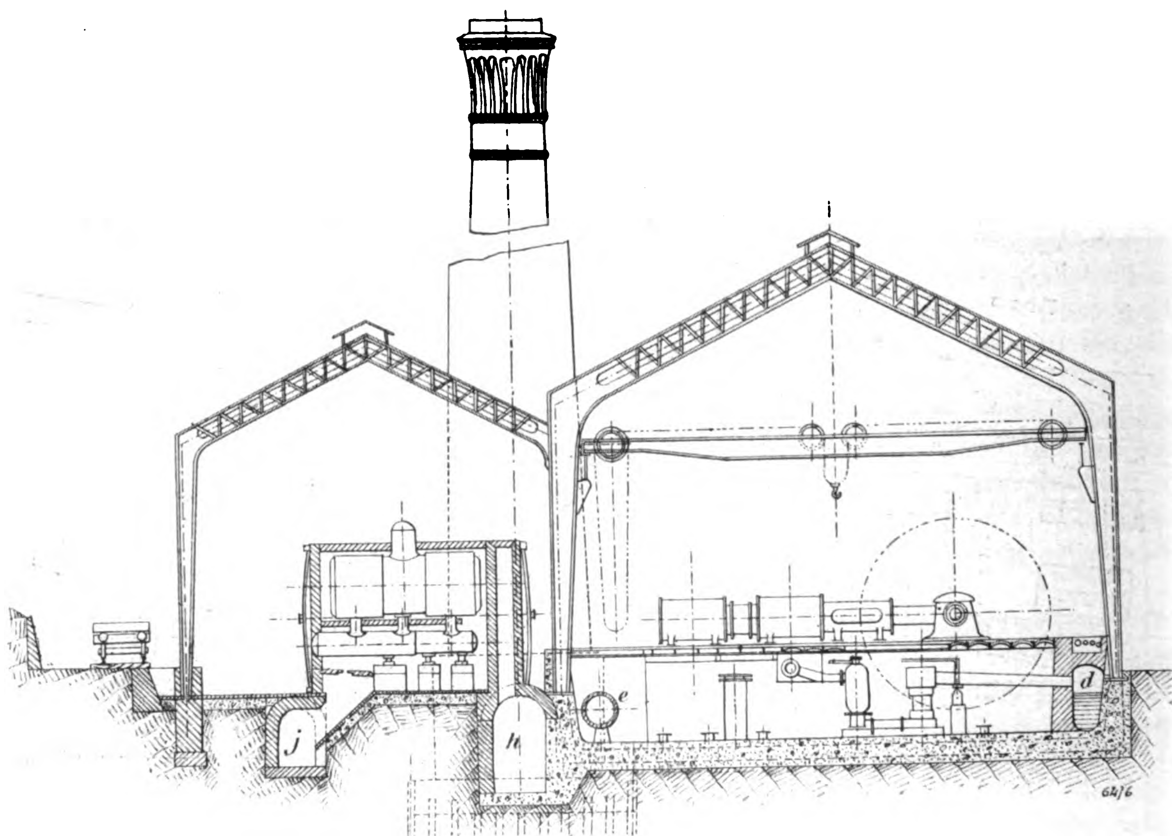


Fig. 4. — Usine des Moulineaux, Coupe en travers du bâtiment principal.

l'alternateur du Creusot à l'Exposition universelle de 1900 et qui a été décrite ici [1]. Elles sont seulement moins puissantes et tournent plus vite.

Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

Pression d'admission	10 kg. : cm²
Course commune	1,35 m.
Diamètre du cylindre à haute pression	650 mm.
Diamètre du cylindre à moyenne pression	1 100 mm.
Diamètre des cylindres à basse pression	1 100 mm.
Nombre de tours par minute	80

Le graissage est automatique ; l'huile ayant servi est filtrée et remise en circulation par une petite pompe actionnée par la machine.

Chaque machine est munie de deux condenseurs à injection, avec casse vide automa-

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 97, 20 octobre 1900.

Digitized by Google

tique, placés dans le sous-sol. Le balancier qui actionne la pompe à air de chaque condenseur met également en mouvement une pompe d'alimentation reliée à un collecteur général et une pompe de purge. On peut au besoin marcher à échappement libre en dép'açant un coude de la conduite d'échappement.

L'inertie de l'alternateur étant insuffisante pour assurer la régularité de marche, la machine est munie d'un volant de 20 tonnes de jante et de 7,50 m de diamètre. Ce volant présente une particularité intéressante : il n'est pas claveté sur l'arbre, mais simplement serré par des boulons sur le moyeu de l'inducteur. Cette disposition a été adoptée pour écarter tout danger de rupture du volant en cas de surcharge brusque pouvant caler la machine. Cette précaution, qui peut paraître au premier abord exagérée, se justifie

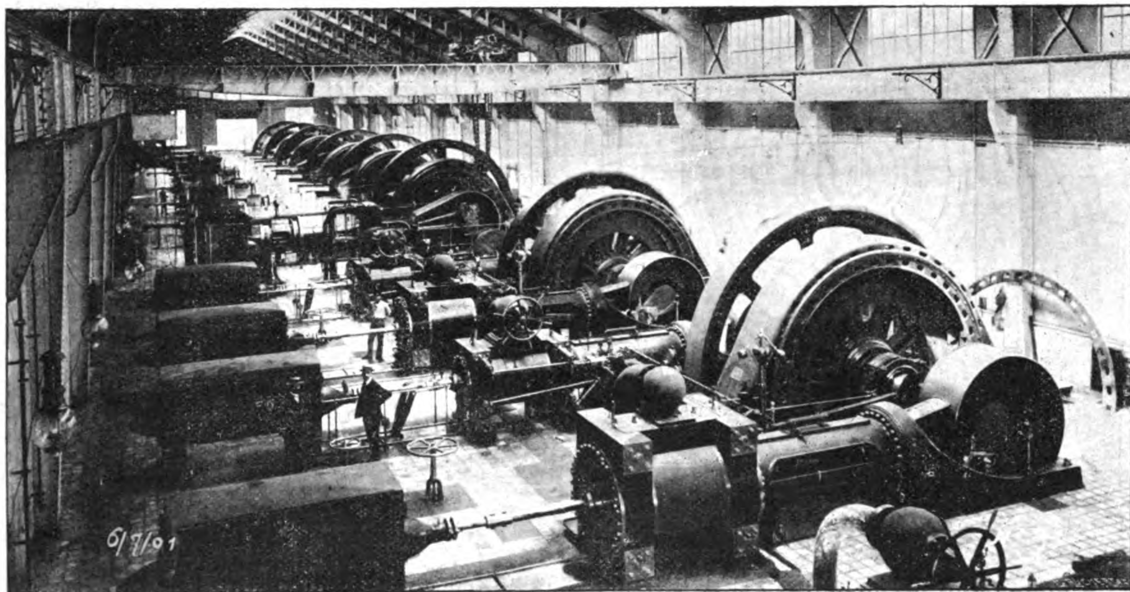


Fig. 5. — Usine des Moulineaux. Salle des machines.

cependant jusqu'à un certain point par la valeur, relativement grande, ainsi que nous le verrons plus loin, de la puissance maxima que peut demander l'alternateur. D'ailleurs on a, paraît-il, remarqué sur un des groupes, à la suite de courts-circuits, un déplacement angulaire de quelques degrés du volant par rapport à l'arbre ?

Le régulateur agit seulement sur l'admission au cylindre à haute pression. L'admission aux autres cylindres est constante. Elle est de 35 p. 100 pour celui à moyenne pression et de 50 p. 100 pour les deux cylindres à basse pression.

Pour la régularité de marche, les conditions imposées avaient été définies par l'écart angulaire entre la position réelle de la partie mobile de l'alternateur et la position qu'elle occuperait si le mouvement de rotation était uniforme et de même vitesse moyenne dans un tour. Cet écart ne devait pas dépasser le 1/12e de l'écartement angulaire de deux pôles voisins.

Ces conditions furent d'abord vérifiées d'après les données de la machine.

Plus tard l'écart angulaire fut relevé sur les machines mêmes par la méthode du diapason ; les résultats de ces mesures ont été communiqués à la Société internationale des électriciens par M. David.

Digitized by Google

Les machines Garnier et Faure-Beaulieu sont compound avec manivelles à 90°. Leurs caractéristiques principales sont les suivantes :

Pression normale d'admission	10 kg. : cm².
Course	1,300 m.
Diamètre du cylindre à haute pression	710 mm.
Diamètre du cylindre à basse pression	1 320 mm.
Nombre de tours par minute	80

Les condenseurs à mélange sont placés à l'arrière des cylindres et les pompes à air sont actionnées par des prolongements des tiges de pistons. Les pompes de purge et d'alimentation sont placées dans le sous-sol.

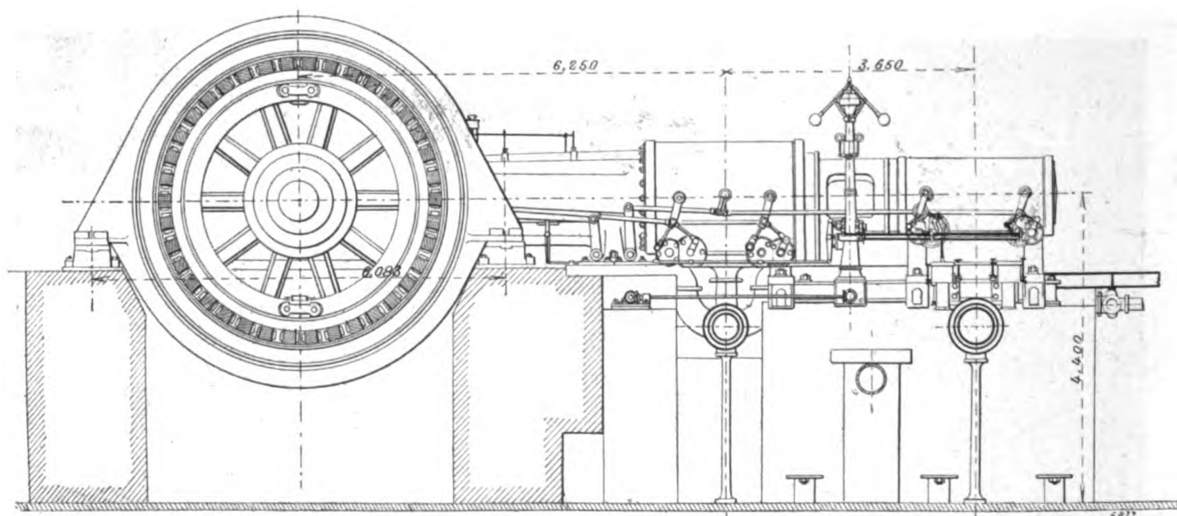


Fig. 6. — Usine des Moulineaux. Groupe électrogène avec machine à vapeur Dujardin. Coupe longitudinale.

De même que les machines Dujardin, ces machines sont munies d'un volant. La forme des bras et de la jante de ce volant est différente et plus avantageuse au point de vue de l'entraînement de l'air : Son diamètre est de 7 m et le poids de sa jante de 25 tonnes.

Le régulateur agit à la fois sur l'admission aux deux cylindres. Cette disposition complique un peu la distribution ; on pourrait penser qu'elle offre l'avantage de réduire les oscillations de vitesse qui se produisent, lors des variations de charge. Toutefois, en comparant les courbes relevées par un cinémomètre enregistreur sur des leux types de machines à vapeur de l'usine des Moulineaux, on ne remarque pas de différence sensible à ce point de vue. Les machines Dujardin sont cependant placées dans les conditions les plus défavorables en apparence à la rapidité d'action du régulateur.

Peut-être s'exagère-t-on généralement l'influence du nombre des expansions sur la régulation, et peut-être aussi faut-il tenir compte de l'inertie, qui est considérable dans les machines des Moulineaux. On remarque, en effet, par l'examen des courbes du cinémomètre enregistreur que la période des oscillations au moment des fortes variations de charge est très longue. Elle est d'environ 30 à 40 secondes, c'est-à-dire qu'elle correspond à une cinquantaine de tours de la machine. Il est bien évident que dans ces conditions l'effet rémanent de la vapeur travaillant dans les cylindres à basse pression ne peut pas avoir d'influence bien sensible. Il ne reste donc que la cause classique des frottements du régulateur et, à ce point de vue, il ne serait évidemment pas avantageux de le faire agir

Digitized by Google

sur plusieurs cylindres au lieu d'un seul puisqu'on est ainsi amené, pour lui conserver la même puissance, à augmenter ses dimensions et par suite son inertie.

Toutes ces machines sont munies d'un vireur mû électriquement qui agit sur une denture portée par le volant.

Alternateurs. — Les neuf alternateurs sont identiques (fig. 8). Ainsi qu'il a été signalé à propos des machines à vapeur, ces alternateurs ne forment pas volant. Le diamètre de la partie tournante n'est en effet que de 4,26 m. Ils sont à induit fixe et inducteur à pôles feuilletés.

L'inducteur est monté sur un volant en fonte en deux pièces boulonnées et clavetées

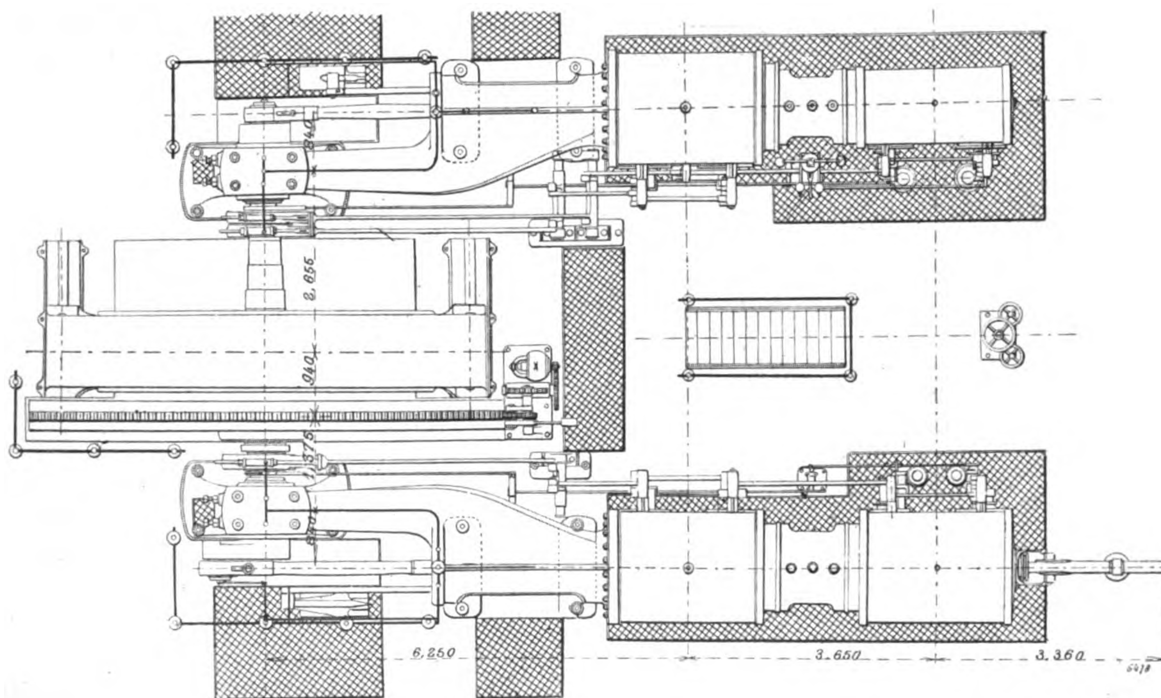


Fig. 7. — Usine des Moulineaux. Groupe électrogène avec machine à vapeur Dujardin. Vue en plan.

ensemble et serrées sur l'arbre par deux bagues en acier posées à chaud. La jante du volant de support est ajournée, de manière que l'air pénétrant à l'intérieur entre les bras soit projeté à travers les intervalles de ventilation ménagés entre les paquets de tôles de l'inducteur et qui correspondent à ceux de l'induit. Les tôles de l'inducteur sont fixées par des queues d'aronde dans la jante et serrées par des boulons entre des plateaux en acier. Les pièces polaires sont munies de chanfreins raccordés par un congé cylindrique aux faces latérales, de manière à obtenir une répartition du champ à peu près sinusoïdale.

L'enroulement est constitué par un ruban de cuivre roulé sur champ. Les spires sont séparées les unes des autres par un isolant fibreux et l'ensemble de la bobine est recouvert d'un vernis isolant et hydrofuge. Les bobines sont maintenues en place par des cales en bronze, glissées dans des rainures ménagées dans les pièces polaires et parallèles à l'axe de la machine. Il est bien évident que ces cales jouent, par surcroît, le rôle d'amortisseurs.

De même que celles de l'inducteur, les tôles de l'induit sont maintenues par des queues d'aronde dans la carcasse en fonte.

Elles sont serrées entre deux joues maintenues en place par des cercles d'acier formant une sorte de clavetage circulaire.

Digitized by Google

L'induit fournit directement le courant triphasé à 5 000 volts. L'enroulement est connecté en étoile. Les bobines sont réparties dans trois encoches par pôle et par phase.

Les encoches sont ouvertes; des cales glissées dans deux rainures maintiennent les conducteurs.

Au point de vue des conditions de fonctionnement, ces génératrices présentent une particularité intéressante : c'est leur faible chute de tension relative à excitation constante entre la marche à vide et la pleine charge de 800 kilowatts, qui est de 14,5 p. 100 pour un facteur de puissance de 0,7.

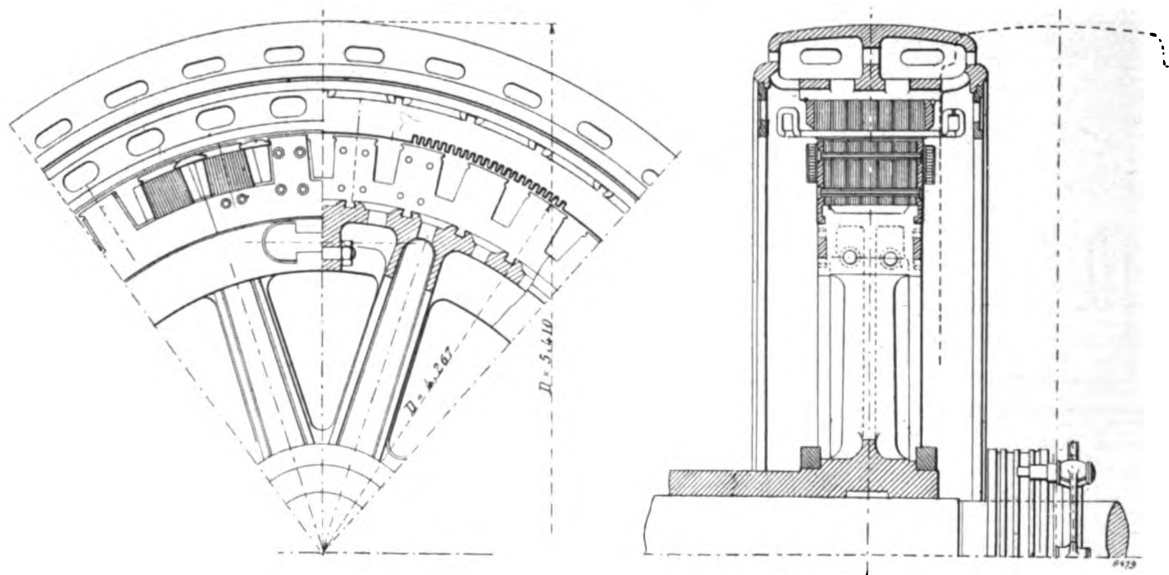


Fig. 8. — Usine des Moulineaux. Alternateur triphasé de 800 kilowatts.

Le courant de court-circuit à l'excitation normale est trop considérable pour avoir pu être relevé directement. On peut le calculer d'après les caractéristiques à vide et les caractéristiques en court-circuit relevées jusqu'à la limite de courant admissible. Il est d'environ 500 ampères, soit près de cinq fois le courant normal, pour l'excitation donnant 5 000 volts à vide. On peut également calculer la puissance maxima qui peut être demandée à la machine à vapeur. Elle est environ de 1 800 chevaux. Ce dernier chiffre n'a rien d'excessif, mais la valeur du courant de court-circuit est considérable pour une machine à courants alternatifs; il n'est pas nécessaire d'avoir une réaction d'induit aussi faible, les variations de tension et de fréquence dues à la variation nécessaire de vitesse des machines à vapeur étant généralement beaucoup plus gênantes que les variations de tension dues simplement à des causes électriques. On peut observer qu'en donnant une valeur élevée au courant de court-circuit on ne fait que rapprocher l'alternateur des conditions ordinaires des dynamos à courants continus. Toutefois il y a lieu de tenir compte des difficultés plus grandes qui se présentent dans la protection des machines puissantes à tension élevée. Pour protéger une dynamo à courant continu contre les excès de courant, un simple disjoncteur suffit et son fonctionnement ne produit aucune perturbation. La rupture du circuit d'un alternateur puissant à haute tension exige au contraire des précautions spéciales si on ne veut pas avoir à redouter des excès de tension dangereux. On avait essayé à l'usine des Moulineaux l'emploi de protecteurs statiques montés aux bornes de

Digitized by Google

sortie des alternateurs, constitués par des condensateurs branchés entre chacune des trois phases et la masse et par des bobines de self-induction intercalées dans chacun des circuits. On dut renoncer à l'emploi de ces appareils, qui, pour être efficaces, devraient être beaucoup plus robustes que les machines à protéger. Quand l'isolant des condensateurs vient à brûler, l'alternateur se trouve mis en court-circuit sans protection aucune, en sorte que le remède est pire que le mal. L'appareil de protection idéal pour les grands alternateurs serait celui qui, sans rompre le circuit principal, empêcherait automatiquement la puissance de dépasser une certaine valeur limite. Un tel appareil serait un complément à peu près indispensable aux alternateurs compound.

Marche en parallèle. — Il est intéressant de faire remarquer qu'à l'usine des Moulineaux on fait marcher en parallèle des groupes électrogénes dont les machines n'ont de semblable que le nombre de tours. Il faut reconnaître d'ailleurs que le couplage des groupes Garnier avec les groupes Dujardin n'a pas été réalisé dès le début et qu'il a fallu un réglage assez minutieux des distributions pour arriver à partager également à toutes charges le débit entre les alternateurs couplés.

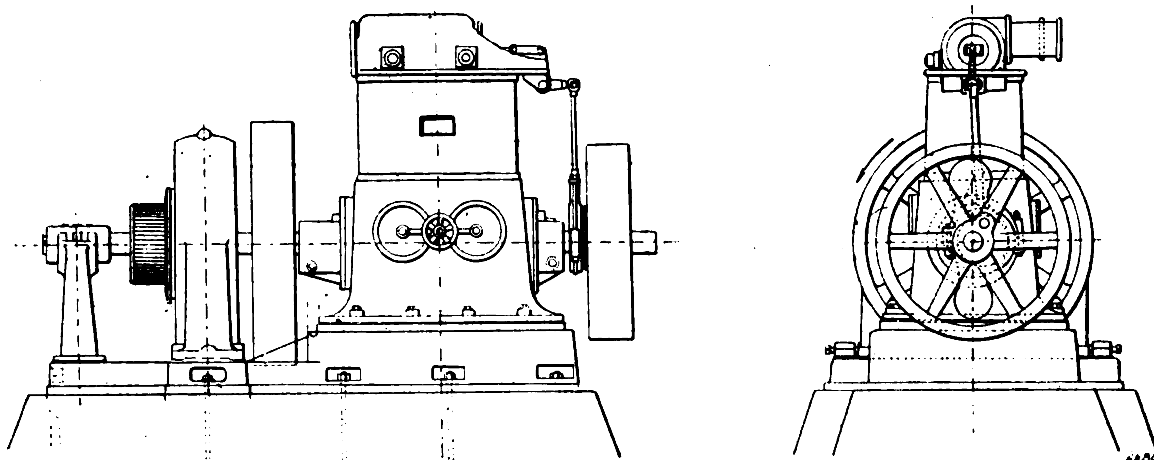


Fig. 9. — Usine des Moulineaux. Groupe d'excitation.

Il y a également une remarque à faire sur le couplage envisagé uniquement au point de vue électrique et indépendamment du type de machine motrice. Nous avons vu que les alternateurs des Moulineaux ont une réactance très faible. Il en résulte que pour un écart donné le couple synchronisant doit être très énergique, le courant d'échange étant lui-même très intense. Les alternateurs couplés doivent donc se synchroniser très rapidement; mais, à chaque variation d'écart angulaire due par exemple aux variations de vitesse dans un tour, lorsque les machines ne sont pas accouplées dans des positions de bielles identiques, il doit passer pendant un instant très court un courant très intense dans les enroulements induits. C'est bien ce que l'on constate en effet. Ainsi que nous le verrons dans la description du tableau de distribution, chaque machine est munie d'un disjoncteur automatique; lorsque les alternateurs sont couplés, on est obligé de caler cet appareil par un poids. Il serait préférable, pour les panneaux de machines de se contenter de plombs fusibles qui seraient insensibles au courant synchronisant et de réserver si l'on veut les disjoncteurs pour les panneaux de départ.

Consommation de combustible. — Pour compléter ce que nous avons dit au sujet des

Digitized by Google

groupes électrogènes principaux, ajoutons que, d'après les différents essais effectués, la consommation de combustible de ces groupes marchant à pleine charge est voisine de 1 kg de charbon pur par kilowatt-heure compté à la sortie de l'usine. Ce chiffre comprend la consommation afférente à tous les accessoires nécessaires au fonctionnement d'un groupe, excitation, pompes, etc... Il est sensiblement le même pour les deux types de machines à vapeur.

Groupes d'excitation. — Les groupes d'excitation sont au nombre de quatre. Ils sont constitués par des machines verticales à grande vitesse actionnant directement des génératrices à courant continu à 120 volts (fig. 9 et 10).

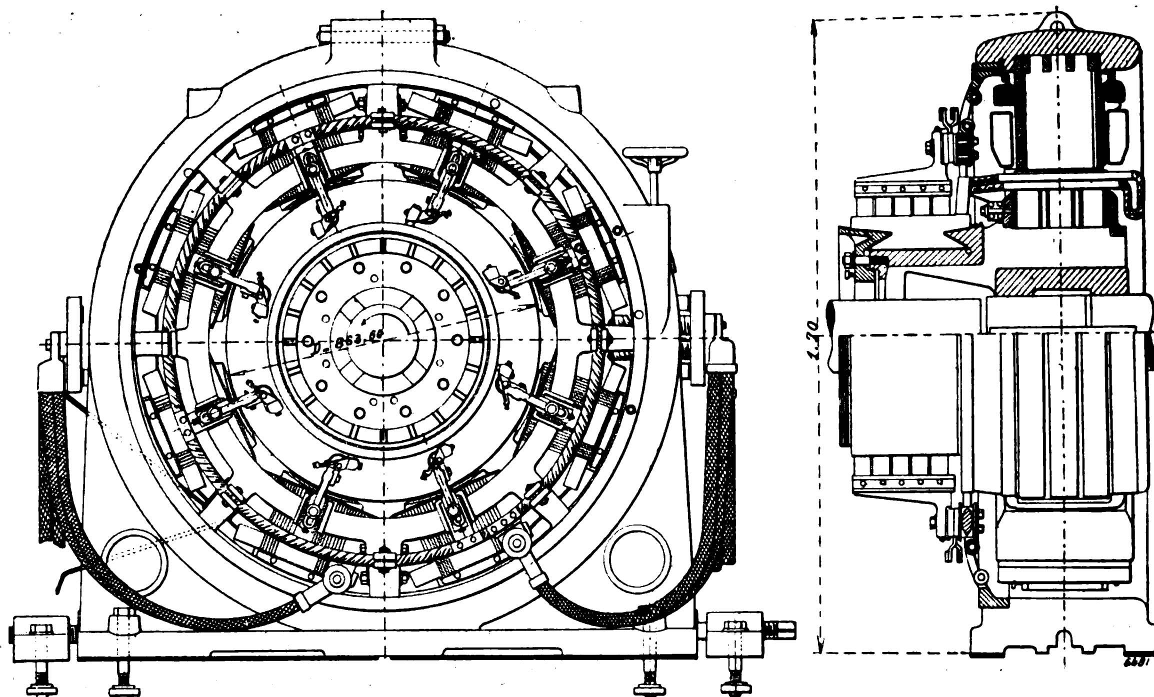


Fig. 10. — Usine des Moulineaux. Excitatrice.

Les machines à vapeur sont du type compound Westinghouse, avec la disposition bien connue du tiroir cylindrique placé à la partie supérieure de la machine.

Les caractéristiques principales de ces machines sont les suivantes :

Pression d'admission	10 kg : cm².
Course	330 mm.
Diamètre du cylindre à haute pression	330 mm.
Diamètre du cylindre à basse pression	559 mm.
Nombre de tours par minute	290

Ces machines marchent à condensation. Elles sont munies d'un condenseur indépendant avec moteur à vapeur pour la pompe à air. Cette disposition n'est admissible que pour des machines relativement peu puissantes, la consommation de vapeur des moteurs actionnant les pompes étant très généralement excessive.

Les dynamos des groupes d'excitation (fig. 10) sont du type Westinghouse à 8 pôles, excitation compound. Leur particularité la plus intéressante est le mode de construction de

Digitized by Google

l'inducteur. Les pôles sont feuilletés et encastrés à la fonderie dans la carcasse en fonte.

Le courant continu à 120 volts fourni par ces groupes sert, non seulement à l'excitation des alternateurs, mais encore à l'éclairage et à la distribution de force motrice dans l'usine. C'est lui qui alimente en particulier les moteurs de l'atelier de réparation, des pompes, des vireurs et des ponts roulants.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution est placé sur une plate-forme surélevée à l'extrémité de l'usine. On y accède par deux escaliers en fer, placés de chaque côté. Il est composé d'une série de panneaux de marbre blanc montés sur charpente en fer. Chacun de ces panneaux comporte les appareils nécessaires à une machine. Chaque alternateur est protégé par un disjoncteur automatique. Cet appareil comporte une double rupture sur cuivre et charbon. Lorsque le déclenchement se produit, il y a d'abord un glissement des bras de l'interrupteur qui rompt les contacts cuivre disposés horizontalement, puis un rappel brusque en arrière qui rompt les contacts charbon disposés verticalement. Les bras correspondant aux trois circuits sont séparés les uns des autres par des panneaux de marbre.

Le fonctionnement de ces appareils est très satisfaisant. La grande longueur des bras assure la rupture de l'arc, tout en permettant de le couper assez lentement pour éviter les effets de résonance. L'interrupteur de couplage est enclenché avec l'interrupteur automatique de telle manière que l'on ne puisse ouvrir le coupleur quand le disjoncteur est fermé. Sur chaque panneau d'alternateur sont montés les appareils de mesure du courant alternatif qui sont : 3 ampèremètres donnant l'intensité dans chaque phase, et 2 wattmètres qui, par la somme de leurs indications, fournissent la mesure de la puissance débitée par la machine. Le montage de ces appareils est fait de telle manière que leurs indications soient égales, lorsque les phases sont également chargées, ce qui est toujours le cas à l'usine des Moulineaux. A cet effet, le gros fil de l'un des wattmètres ferme les circuits secondaires des transformateurs d'ampèremètre de deux des phases, le circuit à fil fin étant pris aux bornes secondaires du transformateur de voltmètre donnant la tension entre les bornes de sortie de ces deux mêmes phases. L'autre wattmètre a son gros fil intercalé dans le circuit du transformateur d'ampèremètre de la troisième phase et son fil fin branché entre les bornes du transformateur de voltmètre correspondant à la borne de sortie de cette troisième phase et le milieu de l'enroulement du transformateur alimentant le fil fin du premier wattmètre.

Chaque panneau d'alternateur comporte en outre les appareils servant au réglage de l'excitation, rhéostat, ampèremètre et interrupteur, ce dernier placé de telle manière que l'on ne puisse l'ouvrir quand l'alternateur est couplé.

Le couplage s'effectue à l'extinction, le secondaire du transformateur de couplage étant mis en opposition à travers la lampe de phase avec le secondaire du transformateur du voltmètre général. Il n'y a qu'un voltmètre de machines que l'on branche au moyen d'un commutateur à fiches sur le secondaire du transformateur de couplage.

Les panneaux d'excitatrices ne présentent pas de dispositions qu'il soit intéressant de signaler particulièrement, sauf le disjoncteur automatique dans lequel le soufflage magnétique est obtenu sans l'emploi d'une bobine spéciale par une disposition particulière de la pièce de contact. Le tableau de distribution est relié aux machines par des câbles en caniveau. De ce tableau le courant à haute tension est amené à un deuxième tableau placé au niveau du sol de la salle des machines et qui sert au départ des feeders et au comptage de l'énergie. Dans sa dernière disposition, ce tableau comprend un panneau par feeder avec

Digitized by Google

interrupteur et compteur. On dispose en outre d'un compteur de rechange qui sert en cas d'avarie à ceux des panneaux de feeders.

Ventilation des sous-sols. — On a dû prendre des dispositions spéciales pour aérer les sous-sols dans lesquels la température s'élevait assez pour en rendre le séjour impossible. On a disposé des prises d'air dans les cours et des cheminées d'appel qui montent le long du mur de la salle des machines.

Ponts roulants. — La salle des machines est desservie par deux ponts roulants de 20 tonnes à commande électrique.

(*A suivre.*)

A. Guéry.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 19 octobre 1903.

***Sur l'état du carbone vaporisé dans les lampes à incandescence*, par M. Berthelot.** *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 589-594.

I. — On sait que les lampes électriques à incandescence renferment un fil de carbone amorphe, obtenu par la calcination d'un filament végétal, et que ce fil porté au rouge blanc, dans le vide, par le courant électrique, fournit une trace de vapeur de carbone, dont la condensation aux parois, poursuivie pendant toute la durée de la lampe, c'est-à-dire pendant 600 à 800 heures, dans la plupart des cas, finit par former, à la surface intérieure de la lampe, un enduit brun, qui en détermine l'obscurcissement graduel. Il était intéressant d'examiner l'état de ce carbone *vaporisé à la plus basse température possible* et de le comparer avec les états connus du carbone : diamant, graphites divers ([1]), carbone amorphe.

([1]) Pour éviter toute confusion, l'auteur rappelle qu'il a réservé en 1870 le nom de *graphites* aux variétés de carbone susceptibles d'être transformées en oxydes graphitiques correspondants, dont les propriétés indiquent d'ailleurs l'existence de plusieurs graphites différents. Cette distinction n'avait pas été faite auparavant et l'application du même nom à plusieurs variétés de carbone amorphe, par Berzélius et par Regnault, avait donné lieu à beaucoup de confusions et d'équivoques. — *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, t. XIX, p. 399-403. Voir aussi p. 416 pour le charbon métallique et le charbon de cornues.

M. Berthelot a joint à l'étude du carbone vaporisé, celle du carbone qui l'avait fourni : c'est-à-dire, d'une part, celle des fils après une incandescence prolongée et aussi après une courte incandescence ; ces actions n'ayant pas dépassé la température, relativement modérée et que l'on peut estimer de 1200° à 1500°, mise en jeu dans un éclairage accompli à l'aide d'un courant de 70 à 80 volts, sans pousser la destruction des filaments jusqu'à une volatilisation finale, brusque et presque totale.

Cette réserve est nécessaire ; car dans l'arc électrique la température est beaucoup plus élevée et le carbone, quel qu'en soit l'état initial, se transforme rapidement en graphite ([1]), au pôle négatif. La température produite par la combustion du carbone dans le dard d'un chalumeau à oxygène pur suffit pour produire le même changement, avec beaucoup moins d'intensité à la vérité ([2]).

1. *Carbone vaporisé.*— Voici comment M. Berthelot a opéré : on a rassemblé un certain nombre de lampes à peu près épuisées (6 lampes de 10 bougies — 70 volts), et tapissées de carbone condensé, sans avoir subi cependant une destruction totale, accompagnée de températures excessives. On a détaché la douille de chaque lampe, enlevé les portions de filament inalté-

([1]) *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, t. XIX, 1870, p. 419. — Voir aussi Moissan, *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 779 ; *Écl. Élect.*, t. I, p. 465, 17 novembre 1894.

([2]) *Ann. de Ch. et de Phys.*, 4e série, t. XIX, p. 418.

Digitized by Google

rées, et retournant la lampe ovoïde, versé dans son fond quelques centimètres cubes d'acide azotique monohydraté pur ; puis on y a incorporé du chlorate de potasse porphyrisé. Le tout a été mis en digestion sur un bain de sable fortement chauffé, pendant quelques heures. Une portion de l'enduit carboné s'est dissous et on a pu alors, avec une baguette de verre à extrémité aplatie, détacher le reste de l'enduit et le faire glisser dans le liquide inférieur. Ce traitement ayant été poursuivi quelque temps, on a laissé refroidir, ajouté de l'eau distillée pour diluer l'acide, décanté ; puis introduit de l'eau distillée chaude, pour achever de dissoudre le chlorate de potasse inaltéré. Une portion du carbone indissous restait au fond de chaque lampe. On a réuni dans un petit matras à fond plat toutes les portions de carbone provenant des lampes sur lesquelles on opérait ; on les a encore lavées par décantation, puis on a desséché le tout à l'étuve et après refroidissement ajouté de nouvelles doses d'acide azotique monohydraté et de chlorate de potasse. On chauffait au bain-marie. En poursuivant ces traitements, on est arrivé, au bout de quelques jours, à dissoudre entièrement le carbone vaporisé, sans aucun résidu d'oxyde graphitique.

Il résulte donc de ces observations que la vapeur de carbone obtenue dans ces conditions, c'est-à-dire à la plus basse température possible, ne contient pas de graphite, ni de diamant. C'est une variété de carbone amorphe.

C'est là, d'ailleurs, une question de température ; car, d'après les expériences publiées par M. Moissan [1], la vapeur du carbone produite sous l'influence de la température de l'arc électrique ou d'une température analogue, avec brusque volatilisation finale, renferme du graphite.

2. *Filaments initiaux ayant subi une incandescence électrique de courte durée* (une heure au plus). — On sait que ces filaments avaient été obtenus à l'origine par la destruction pyrogénée de certaines fibres végétales. Depuis lors, on a eu recours à divers artifices pour les préparer, notamment avec filetage de cellulose en pâte : un grand nombre de brevets ont été pris pour cette préparation. Une incandescence électrique de courte durée est pratiquée pour en faire disparaître toute trace d'hydrogène et d'autres gaz ou vapeurs. Elle ne produit pas, d'ailleurs, dans ces conditions de durée, de vapeur de carbone appréciable, si la lampe a été bien fabriquée.

Les fils ainsi préparés et placés tout entiers, sans autre précaution, dans le mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse, n'y éprouvent que des altérations très faibles, par une digestion à chaud de quelques heures, mais cette inaltérabilité n'est qu'apparente. En effet, si l'on chauffe le filament au rouge dans un creuset de platine, le carbone brûle lentement, et il reste un squelette solide : ce qui montre que le filament avait été enduit en fabrique avec une matière fixe, silice ou silicate, aluminate, etc. Pour s'en débarrasser, il est nécessaire de faire digérer à chaud les filaments dans un mélange de fluorure d'ammonium et d'acide sulfurique, additionné d'un peu d'eau, sans pousser trop loin l'évaporation. Après cette opération, on lave par décantation, on sèche légèrement et l'on traite par l'acide chlorhydrique concentré pour achever de dissoudre les oxydes ; on lave de nouveau, on dessèche les filaments, et on les réduit en poudre impalpable dans un mortier d'agate. Ces traitements ont besoin parfois d'être réitérés. Finalement, la poudre sèche de carbone, qui reste dans le mortier, est délayée dans l'acide azotique monohydraté, introduite dans un petit matras à fond plat et additionnée de chlorate de potasse porphyrisé. On chauffe au bain-marie, etc. Le carbone disparaît à la longue et se dissout entièrement.

Il n'y a donc pas de graphite formé dans ces conditions, avec les filaments fournis par le commerce et étudiés par M. Berthelot.

3. *Filaments résidus d'une lampe ayant servi.* — Il s'agit de filaments n'ayant pas brûlé complètement à la fin, comme il arrive parfois, c'est-à-dire obtenus sans avoir été poussés jusqu'à une volatilisation finale, brusque et totale ou à peu près. On les a traités exactement comme les précédents et l'on est arrivé au même résultat.

Le carbone de ces filaments n'avait donc pas été changé en graphite, au cours de leur emploi prolongé pour l'éclairage, à une température relativement basse. Si la température de l'arc ou analogue intervenait, on aurait au contraire, comme on sait, du graphite [1].

[1] *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 779.

[1] Un graphite est également susceptible de se pro-

II. — En résumé, le carbone possède une tension de vapeur appréciable, à une température qui ne surpasse pas le rouge blanc et qui peut être estimée entre 1200° et 1500°.

Cette tension est si faible qu'il faut plusieurs centaines d'heures pour produire quelques milligrammes de carbone condensé, même dans le vide presque absolu des lampes électriques. Enfin, le carbone, ainsi *vaporisé à la plus basse température possible*, est du carbone amorphe, sans graphite ni diamant, dans les conditions des observations de M. Berthelot.

D'après ces faits, la température à laquelle se manifeste déjà la tension de la vapeur du carbone est inférieure de 2000° environ à celle de son ébullition (3600° d'après M. Violle) ; intervalle qui surpasse extrêmement celui pendant lequel la plupart des autres corps possèdent une tension de vapeur sensible.

« Mais cette tension, dans le cas du carbone, ne répond pas, dit M. Berthelot, à une simple vaporisation, sans changement profond de constitution chimique du corps en expérience ; contrairement à ce qui arrive pour l'eau, l'alcool et la plupart des corps simples ou composés : ceux-ci étant constitués d'ordinaire, à l'état liquide ou solide, par des agrégations purement physiques de molécules, que la fusion et la volatilisation séparent avec un travail relativement faible.

» Le carbone au contraire, tout en représentant un seul et même élément chimique, se présente à l'état solide sous une multitude d'états divers, doués de propriétés physiques ou chimiques fort dissemblables, et diversement condensés. Ces états du carbone sont en réalité de véritables polymères, à constitutions moléculaires spéciales, limites corrélatives de la constitution des nombreuses séries de combinaisons que cet élément est susceptible de former. La décomposition pyrogénée de ces combinaisons n'aboutit pas du premier coup à un seul et même état normal du carbone ; mais elle s'opère par voie de condensations progressives ; les divers carbones représentent les limites de ces condensations [1].

» J'ai insisté à bien des reprises sur ces phénomènes depuis 1865 ; ainsi que sur l'absorption de chaleur, 8 ou 10 fois aussi grande que la chaleur de vaporisation de l'eau, laquelle est exigée par une dissociation capable de ramener ces polymères à un état atomique normal, tel que l'état caractérisé par l'analyse spectrale du carbone gazeux. La reproduction de cet état normal paraît nécessaire pour que le carbone puisse se combiner directement et par le seul travail de ses énergies internes avec l'hydrogène gazeux, comme il arrive dans la synthèse directe de l'acétylène.

» D'après les analogies ordinaires, les propriétés physiques des corps composés, susceptibles d'être formés directement, dérivent de celles de leurs composants, plus ou moins modifiées en raison de la perte d'énergie éprouvée lors de cette combinaison directe. Ainsi, pour nous borner à deux exemples, la combinaison de l'hydrogène, qui bout à — 252°, et celle de l'oxygène, qui bout à — 182°, fournit de l'eau, qui bout à + 100° : la force vive qui maintenait à l'état gazeux les molécules d'hydrogène et d'oxygène libres a donc diminué dans une proportion énorme, corrélative des 59 000 calories perdues au moment de leur combinaison avec formation d'une molécule d'eau gazeuse. De même l'oxyde de carbone qui bout à — 190° et l'oxygène à — 182° forment de l'acide carbonique (qui bout seulement à — 78°), avec un dégagement de chaleur voisin de 68 000 calories.

» Il en est assurément de même du carbone, lors de sa combinaison avec l'hydrogène. L'existence réelle de cet élément à un état gazeux identique, quelle qu'en soit l'origine, est attestée par l'analyse spectrale, tant dans l'arc électrique, ou sur le trajet de l'étincelle à travers ses oxydes, hydrures, sulfure, chlorures, azoture gazéifiés, que dans les flammes produites par la combustion de ces divers composés ; et cela pour des températures dont les dernières, celles des flammes, ne dépassent pas d'ordinaire 1 200° à 1 500°, limite à laquelle répond la formation du carbone gazeux, dans les conditions étudiées par la présente Note.

duire à plus basse température, sous l'influence du contact de certains corps, tels que le soufre, le chlore, l'iode au moment où le carbone sort de certaines de ses combinaisons. C'est ce que M. Berthelot a établi pour la décomposition du sulfure de carbone, de ses chlorures et des éthers iodhydriques.

[1] Voir de l'auteur *Essai de Mécanique chimique*, t. II, p. 45 et 1195.

Digitized by Google

» Si l'on tient compte des points d'ébullition, tant de l'acétylène et des carbures gazeux d'hydrogène, que des oxydes gazeux du carbone, de son azoture, de son sulfure, ainsi que des analogies qui précèdent, il semble que l'état normal du carbone à la température ordinaire devrait être celui d'un gaz permanent dont le point d'ébullition serait compris entre ceux de l'hydrogène et de l'oxygène ; conformément d'ailleurs à la gradation de leurs poids atomique : H = 1 ; O = 16 ; C = 12. Mais on est forcé d'admettre qu'un semblable gaz se changerait presque instantanément en polymères, par la combinaison réciproque de ses molécules ; comme le fait d'ailleurs l'acétylène porté vers la température du rouge sombre ; ce changement aurait lieu de même avec des dégagements de chaleur considérables.

» En fait, parmi les corps simples actuellement reconnus de la Chimie, un petit nombre seulement paraissent se présenter en général à l'état de molécules élémentaires isolées ; tels sont l'hydrogène, l'oxygène, l'azote. Au contraire la plupart de nos corps simples actuels, tels que les métaux, le soufre, le silicium, le carbone, se manifestent d'ordinaire à l'état solide, en dehors de leurs combinaisons, avec d'autres éléments, sous la forme d'états condensés, ayant déjà perdu une partie considérable de leur énergie essentielle ».

Séance du 27 octobre 1903.

Sur la phosphorescence scintillante que présentent certaines substances sous l'action des rayons du radium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 629-634.

Dans cette communication, l'auteur après avoir sommairement rappelé une expérience de sir W. Crookes et une autre de MM. Elster et Geitel [1], décrit les expériences qu'il a lui-même entreprises en vue de résoudre plusieurs questions que soulèvent les faits observés. Mal-

» Si l'on opère avec une quantité un peu plus grande de sel de radium, et qu'on l'approche progressivement de l'écran, la lueur phosphorescente que provoque la matière active présente une agitation croissante. Le phénomène se produit dans le vide comme dans l'air, et à la température de l'hydrogène liquide comme à la température ordinaire ; il s'affaiblit au point de disparaître si l'on interpose une feuille de papier entre la source radiante et l'écran de blende hexagonale. La scintillation s'observe, mais faiblement, avec un écran de platinocyanure de baryum.

» En se fondant sur la faible pénétrabilité des rayons provoquant la scintillation, Sir W. Crookes a pensé que l'effet était produit par les rayons α (rayons transportant des charges positives), et que chacun des points lumineux était le résultat du choc d'un électron isolé.

» Peu après la publication de cette expérience, MM. J. Elster et H. Geitel (*Physikalische Zeitschrift*, t. IV, p. 439, 27 mars 1903), ont annoncé qu'ils avaient vu de leur côté le même phénomène de scintillation sur de la blende hexagonale maintenue à un potentiel négatif de 2 000 volts dans un espace clos, dont le volume avait un peu plus d'un mètre cube et qui contenait de l'air radioactif extrait du sol.

» Les mêmes auteurs ont ensuite répété l'expérience de Sir W. Crookes sur la blende hexagonale avec des matières actives entourées de papier ; ils ont reconnu que la lumière rouge ne modifie pas la scintillation, tandis que, comme on le sait, les rayons rouges et infra-rouges provoquent l'extinction de la phosphorescence produite par une excitation lumineuse ; puis en substituant à l'écran de blende hexagonale un écran de tungstate de calcium, qui devient phospherescent, ils n'ont plus observé la scintillation.

» Le rayonement du thorium provoque faiblement la scintillation de la blende hexagonale. Un courant d'air projeté sur l'écran ne paraît avoir aucun effet sur le phénomène.

» Les expériences qui viennent d'être rappelées, soulèvent plusieurs questions :

La première est d'établir si la scintillation est due à l'action d'une partie seulement du rayonnement du radium. Le caractère d'une faible pénétrabilité ne suffit pas pour définir le rayonnement actif et, bien que l'attribution faite par Sir W. Crookes aux rayons α soit exacte, il convenait de rechercher si les autres parties du rayonnement produisent le même effet.

» Une autre question non moins intéressante est de démontrer si, comme le pense Sir W. Crookes, la scintillation est produite par le choc d'électrons isolés, émis à des intervalles de temps appréciables, ou si l'effet ne devrait pas plutôt être attribué à la désagrégation de la matière phosphorescente. Les substances qui présentent la scintillation avec la plus grande intensité s'altèrent

[1] « Il y a quelques mois (*Proc. Roy. Soc.*, t. LXXI, p. 405 19 mars 1903. — *Electrician*,, 3 avril 1903. — *Modern views on matter*, juin 1903), sir W. Crookes a fait une très curieuse expérience. Sur un écran de sulfure de zinc phosphorescent, on pose un très petit grain d'un sel de radium, ou mieux, on le maintient très près de l'écran en le fixant à l'extrémité d'un fil métallique, et l'on regarde la surface phosphorescente au moyen d'une forte loupe ou d'un microscope. On aperçoit alors sur l'écran autour d'une tache lumineuse, une série de points brillants qui apparaissent et disparaissent à chaque instant, donnant l'aspect d'un ciel étoilé incessamment variable. Sir W. Crookes a appelé cette disposition expérimentale le *spinthariscoqe*.

Digitized by Google

gré l'intérêt que présentent les propriétés du radium, la longueur de la communication nous oblige à n'en reproduire que les conclusions :

« Ainsi il résulte de ces observations que, conformément à l'opinion émise par Sir W. Crookes, ce sont les rayons α qui provoquent la phosphorescence scintillante ; la phosphorescence excitée par les rayons β, lorsqu'elle est appréciable ou prépondérante, masque le phénomène produit par les rayons α. Il semble donc que l'action des rayons β ne donne pas lieu au même effet.

» Une série d'expériences faites en projetant, sur les divers écrans dont il a été question plus haut, un faisceau de rayons X, limité par un trou d'épingle percé dans une lame de plomb, n'a montré aucune apparence de scintillation ; mais comme l'intermittence de l'excitation du tube focus producteur des rayons X pouvait masquer le phénomène, cette dernière expérience ne doit pas être considérée comme absolument concluante.

» La question de savoir si, dans les expériences qui viennent d'être décrites, l'intermittence de la phosphorescence excitée par les rayons α peut être attribuée à une très lente fréquence dans l'émission de ces rayons, est plus difficile à résoudre. Si l'on avait pu observer avec un corps phosphorescent une lueur non intermittente produite par les rayons α, on devrait en conclure que la fréquence de l'émission est trop grande pour être mesurable dans ces conditions et que l'effet observé vient de la matière altérable de l'écran ; mais au contraire, la scintillation ou l'agitation de la phosphorescence produite par les rayons α a été reconnue avec toutes les substances étudiées.

» Cependant diverses particularités des expériences précédentes doivent être prises en considération. Un fait général est que la scintillation est d'autant plus nette et plus vive que les écrans sont formés de plus petits cristaux. Si parmi les beaux cristaux préparés par M. Sainte-Claire-Deville on choisit un fragment cristallin qui semble relativement gros sous le microscope, et si on le place très près d'un grain de chlorure de radium, il devient phosphorescent et produit une lueur continue sans manifester de scintillation. Parfois, sur le fragment cristallin apparaît un point lumineux semblable à une petite étoile qui croît puis disparaît lentement, et se reforme plusieurs fois de suite à la même place où se trouve vraisemblablement une fêlure. Si l'on brise le même cristal en fragments plus petits, certains morceaux présentent des points brillants variables, et enfin, si l'on pulvérise ces morceaux, la scintillation apparaît avec les caractères décrits plus haut. La blende, préparée en très petits cristaux par le procédé de M. Ch. Henry, manifeste la scintillation avec une très grande intensité.

» On peut donc admettre que, sous l'influence d'un rayonnement qui paraît continu pour nos sens, les cristaux s'altèrent progressivement et se clivent inégalement vite suivant qu'ils sont plus ou moins gros. La matière présenterait une sorte de décrépitement. Dans cet ordre d'idées, on conçoit que les rayons α qui sont théoriquement constitués par des masses, réelles ou apparentes, mille fois plus grosses que celles des électrons, et qui paraissent transporter une partie considérable de l'énergie du faisceau radioactif, soient plus efficaces, pour produire les effets en question, que ne le sont les rayons β et γ.

» Le clivage des divers cristaux employés pour les expériences précédentes, doit être accompagné d'une émission de lumière, même lorsqu'on le produit mécaniquement. J'ai réalisé l'expérience en écrasant entre deux plaques de verre des cristaux de blende hexagonale. Chaque cristal qui se brise produit une émission lumineuse d'autant plus intense qu'il est plus gros, et en regardant les cristaux avec une loupe pendant qu'on les écrase, on réalise un spintharis-cope sans radium.

» Ces faits établissent, sinon une démonstration, du moins une grande présomption en faveur de l'hypothèse qui attribuerait la scintillation à des clivages provoqués irrégulièrement sur l'écran cristallin par l'action continue plus ou moins prolongée des rayons α ».

sous l'influence du rayonnement, et l'altération pourrait être accompagnée de clivages moléculaires, phénomène qui donnerait lieu à des petites étincelles analogues à celles qu'on observe en brisant des cristaux de nitrate d'urane, de sucre ou d'autres matières.

Le Gérant : **C. NAUD.**

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 5 Décembre 1903. 10e Année. — N° 49

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**. Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**. Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**. Professeur à l'École des Mines. Membre de l'Institut. — **A. WITZ**. Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**. Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR L'ARC ÉLECTRIQUE

NOTES SUR LES TRAVAUX DE Mme HERTHA AYRTON (1)

Les beaux travaux de Mme Ayrton sur l'arc électrique sont déjà trop connus des lecteurs de ce journal, à qui plusieurs parties en ont été présentées successivement par le regretté M. Hess, par l'auteur de ce compte rendu et par leur auteur elle-même (2), pour qu'il soit besoin d'insister sur le grand intérêt du remarquable ouvrage que Mme Ayrton vient de consacrer au même sujet. Pour tous ceux qui s'occupent de l'arc électrique l'apparition de cette œuvre magistrale était depuis longtemps attendue. Elle représente le fruit de longues années de patientes observations, aidées de très ingénieuses méthodes, et couronnées de déductions souvent savantes, toujours consciencieuses et originales, dont plusieurs ont renversé de la façon la plus inattendue bien des idées reçues.

J'ai à m'excuser d'autant plus d'avoir un peu tardé à signaler cet ouvrage aux lecteurs. Mais je ne voulais le faire qu'en consacrant en même temps un plus long article à la der-

(1) Ces notes nous ont été remises comme analyse d'un ouvrage publié par Mrs H. Ayrton, en 1902, intitulé *The Electric Arc* et imprimé par la « The Electrician » Printing and Publishing Company, Salisbury Court, Fleet Street, London (un vol. in-8° de 480 pages et 146 figures: prix 12 sh. 6 p.). La longueur et l'intérêt de cette analyse bibliographique, nous ont engagé à la publier comme article. N. D. L. R.

(2) Les recherches de Mme H. Ayrton sur l'arc électrique, par A. Hess, *Écl. Élect.*, t. IX, p. 109, 17 octobre 1896. — Rendement lumineux de l'arc électrique, par A. Blondel. *Écl. Élect.*, t. X, p. 289, 496, 539, t. XI, p. 281, 13 février, 13 et 20 mars, 1er mai 1897. — Sur le rendement lumieux de l'arc électrique, par Hertha Ayrton, *Écl. Élect.*, t. XI, p. 280, 1er mai 1897. — Les recherches de Mme Ayrton sur l'arc sifflant, par A. Blondel, t. XIX, p. 388, 10 juin 1899. — L'intensité lumineuse de l'arc à courants continus, par H. Ayrton, t. XXIV, p. 458, 22 septembre 1900.

Digitized by Google

nière partie, la plus nouvelle, du livre; c'est le seul moyen de rendre vraiment justice à l'auteur. Car les trois quarts au moins de ce beau volume sont constitués par ses travaux personnels, et nous avons ainsi affaire plutôt à un long mémoire original qu'à une œuvre de vulgarisation impersonnelle.

Contrairement à ce qui a lieu pour la plupart des ouvrages anglais, celui-ci est présenté sous la forme la plus didactique et la plus claire chaque chapitre étant résumé non seulement au début par un titre détaillé, mais encore à la fin par un sommaire, mis sous forme de propositions, et complété par une bibliographie des travaux cités dans le chapitre. Toutes les lois ou les expériences sont illustrées par des graphiques qui parlent aux yeux. De sorte que cet ouvrage éminemment scientifique peut prétendre en même temps (comme le désire évidemment son auteur) au rôle de « text book » pour les élèves des universités et des écoles techniques.

La matière qu'il contient est si touffue que l'on sait doublement gré à l'auteur d'avoir ainsi facilité la tâche du lecteur et les recherches de tous. Sans vouloir essayer de résumer dans une courte revue toute cette matière, je ne crois pas inutile d'en donner un rapide aperçu par chapitres, et de faire en même temps quelques remarques personnelles sur des points particulièrement intéressants.

Le premier chapitre est consacré à la description des apparences extérieures de l'arc, aidée de nombreux dessins au trait d'après nature et de reproductions d'aquarelles à échelle agrandie. Personne ne peut rivaliser dans cette étude avec Mme Ayrton, et grâce à elle, l'arc apparaît comme un phénomène nettement défini, avec son cratère brillant, sa colonne de vapeur violette, entourée d'une zone sombre et d'une zone de combustion verte et d'une flamme qui lèche les charbons. On peut regretter peut-être qu'il n'ait pas été fait usage de reproductions photographiques agrandies, mais les dessins au trait donnent plus de netteté et de précision.

Le chapitre II contient un exposé remarquablement intéressant, et qu'on ne trouverait pas facilement ailleurs, de tous les principaux travaux faits sur l'arc électrique à courant continu depuis 1801 jusqu'à nos jours; les soixante-quinze pages de ce résumé, que termine une liste bibliographique très complète sont de grande valeur pratique et constituent la meilleure introduction aux recherches de l'auteur.

Celles-ci débutent, dans le chapitre III, par un exposé très intéressant de l'établissement du régime d'un arc. Avec raison Mme Ayrton insiste sur la nécessité d'attendre un temps assez long dans toutes les lectures pour que l'arc ait pris son régime définitif, qui dépend essentiellement de la taille des charbons sous l'influence de l'usure. Elle montre à l'aide de courbes que ce régime s'établit progressivement en une durée qui est rarement inférieure à 40 ou 50 minutes, souvent une heure, ainsi qu'on le constate par les variations progressives de la différence de potentiel aux bornes. Cette durée est, du reste, variable, comme elle le montre, suivant la longueur de l'arc, la densité du courant et la nature des charbons, homogènes ou à mèches. Ces derniers prennent plus vite leur régime et avec une force électromotrice moindre que les charbons homogènes. On constate de même que tout changement de courant provoqué par un changement de résistance extérieure dans le circuit donne lieu à un régime troublé pendant quelque temps, et qui tend vers une nouvelle valeur permanente par un changement progressif de la taille des charbons. Avec un charbon positif à âme, on obtient quelquefois des tensions aux bornes aussi basses que 16 volts pendant quelque temps sans que l'arc se mette à siffler; on observe quelquefois que le changement de la différence de potentiel est, au début, de même signe que la variation du courant, tandis que le contraire seul se présente avec les charbons homogènes.

Digitized by Google

Le chapitre IV est ensuite consacré à l'étude des régimes permanents, établis après les précautions convenables. Tout d'abord l'auteur fait varier le courant en maintenant l'arc de longueur constante ; ensuite elle fait varier la longueur de l'arc en maintenant le courant constant. Dans ces deux cas, elle examine successivement l'arc entre deux charbons homogènes, puis l'arc entre charbon positif homogène ou à âme et un négatif toujours homogène. Elle établit, à l'aide de très nombreuses lectures parfaitement contrôlées et concordantes, ce qu'on n'avait jamais pu faire avant elle, c'est-à-dire les courbes complètes de fonctionnement des arcs. Dans ces courbes, les tensions entre les pointes des charbons sont portées en ordonnées, tandis que les abscisses représentent les courants ou les longueurs de l'arc. Les premières courbes sont les plus intéressantes; elles ont été déjà reproduites et analysées avec assez de détails dans ce journal (1) en leur temps, pour que que je puisse me contenter d'y renvoyer les lecteurs; une de leurs particularités les plus remarquables est la mise en évidence des régions d'instabilité qui séparent les courbes de l'arc long silencieux de celles de l'arc court sifflant ; cette instabilité était bien connue autrefois, mais elle n'avait jamais été mise aussi nettement en évidence, ni sous une forme scientifique et précise.

Le chapitre V continue le même sujet, en considérant plus spécialement la question intéressante du rapport entre le diamètre du cratère et l'intensité du courant. Plusieurs lois intéressantes sont découvertes par Mme Aryton ; tout d'abord, avec des arcs silencieux, et à courant constant, elle trouve que l'aire du cratère varie suivant une loi linéaire en fonction de la différence de potentiel entre pointes, en augmentant en même temps que la longueur de l'arc, et que le changement de la surface du cratère avec le changement de la longueur est indépendant de la valeur absolue du courant. Elle établit aussi quelques lois sur ce qu'elle appelle le rapport du cratère tendre au cratère total (le cratère tendre est la section de la mèche) ; le rapport de la partie des charbons homogènes du cratère à la section totale est ce qu'elle appelle le rapport du cratère dur. Les variations de ces deux rapports sont étudiées avec soin et représentées par des courbes de variation. On peut faire ici une légère critique : c'est que la composition de la matière de la mèche n'est pas donnée, et que peut-être le résultat serait fort différent avec des mèches moins ou plus riches en silicates alcalins.

En maintenant la longueur de l'arc constante, Mme Ayrton montre que l'aire du cratère augmente avec le courant, mais que le changement de surface en fonction d'un changement de courant donné est indépendant de la longueur de l'arc. Elle examine ensuite le rôle de la profondeur du cratère, qui semble sans influence sur la différence de potentiel ; celui des diamètres des charbons qui semble, au contraire, influencer un peu cette différence de potentiel sous une longueur d'arc donnée, probablement parce que le diamètre de la mèche varie avec celui des charbons. Elle donne les courbes de la résistance apparente et de la longueur de l'arc à courant constant, qui sont des lignes droites dans le cas des charbons homogènes, et les courbes des intensités et les longueurs de l'arc à potentiel constant.

Les chapitres VI et VII, sont consacrés tout entiers à l'examen de la loi qui relie la différence de potentiel au courant et à la longueur de l'arc, et à l'analyse des résultats des observateurs antérieurs et de ceux de l'auteur. Il convient de dire qu'avant Mme Ayrton tous ceux qui avaient étudié cette question, et dont elle analyse les expériences, notamment Edlung, Frœlich, Peukert, Cross et Schepard, étaient restés bien loin en arrière au point de vue de la quantité et de la qualité de leurs expériences. Il ne fallait pas moins que l'extraordinaire persévérance et la minutie de détail apportées par Mme Ayrton pendant de

(1) *Écl. Élect.*, t. IX, p. 109, 17 octobre 1895.

longues années à cette recherche pour donner une base enfin solide à la formule vainement cherchée depuis lontemps, et qu'elle a eu l'honneur d'avoir découverte la première. Elle y est arrivée en traçant avec soin, pour des régimes bien permanents, les courbes de puissance consommée en fonction de la longueur de l'arc pour différents courants constants, avec des charbons homogènes ; elle a découvert que ces courbes étaient des lignes droites concourantes, c'est-à-dire que la puissance consommée à courant constant est une fonction linéaire de sa longueur ; de même, sous longueur d'arc constante, la puissance consommée est une fonction linéaire du courant et toutes les lignes droites sont aussi concourantes.

L'équation qui représente toutes ces droites est de la forme :

$$U = a + bl + \frac{c + dl}{I},$$

dans laquelle a, b, c, d sont des constantes, dépendantes seulement des charbons employés, l la longueur de l'arc et I l'intensité du courant.

Cette équation représente, si l'on veut, une série d'hyperboles rectangulaires ayant pour asymptotes l'axe de potentiel d'une part, et, d'autre part, une droite parallèle à l'axe de courant tracée à une distance de celui-ci qui ne dépend que de la longueur de l'arc. Mme Ayrton a eu la satisfaction de pouvoir montrer que toutes les formules incomplètes données par ses devanciers pour des cas particuliers, rentraient, sans qu'ils l'aient prévu, dans sa formule, dont elles constituent ainsi de précieuses vérifications.

Elle a cherché, en outre, à analyser les éléments constitutifs de la chute de potentiel, au moyen d'une électrode supplémentaire, formée d'un petit charbon que l'on promène dans l'arc et dont on mesure la différence de potentiel par rapport aux charbons. Elle a trouvé ainsi que la partie principale, qui est la chute de potentiel au cratère positif, augmente avec la longueur de l'arc et diminue quand le courant augmente; tandis que la chute de potentiel au négatif ne varie pas avec la longueur de l'arc, mais diminue quand le courant augmente.

Elle a donné les équations de chacune de ces différences de potentiel en fonction du courant et de la longueur de l'arc ; dans celles-ci figurent deux constantes, dont la somme reproduit bien la constante de l'équation générale. Le terme qui contient le courant seul dans celle-ci provient des deux charbons, tandis que le terme qui contient la longueur de l'arc seul appartient à la vapeur qui forme la colonne entre les charbons.

La réduction de la différence de potentiel totale causée par l'emploi de charbons à mèches provient en partie d'une réduction de la chute au cratère, et en partie d'une réduction de la résistance de la vapeur ; le charbon négatif ne joue qu'un rôle négligeable à ce point de vue, même quand il est à mèche.

Les deux chapitres suivants sont consacrés à la question de la résistance nécessaire pour la stabilité de l'arc, qui doit être ajoutée hors du circuit, et aux conséquences qu'elle entraîne. Mme Ayrton se sert de la notion, indiquée autrefois par l'auteur de cette revue [1], de la stabilité de l'arc, dépendant de l'inclinaison de la courbe qui relie le voltage entre pointes à l'intensité du courant. Mais au lieu de se servir comme moi des courbes de variation instantanée, qui ne se confondent pas avec les courbes de régime permanent, Mme Ayrton utilise ces dernières. La différence ne doit pas être très grande au point de vue des résultats. Elle prend comme limite de résistance nécessaire en circuit, celle qui donne lieu à une droite d'alimentation tangente à la courbe de régime, et elle admet que pour toute résistance plus faible l'arc s'éteint, tandis qu'il est stable pour les résistances plus fortes; elle décrit avec beau-

(1) *La Lumière Électrique*, 26 décembre 1891, p. 621.

Digitized by Google

coup de netteté les divers rôles de la résistance additionnelle, sans laquelle, dit-elle, il n'est pas possible de maintenir un arc silencieux. Elle calcule cette résistance au moyen des formules qu'elle a données pour la loi de la différence de potentiel en fonction du courant et de la longueur de l'arc ; ce calcul résoud pour la première fois la prédétermination mathématique de la résistance nécessaire, sous la réserve que j'ai faite plus haut. Il résulte de ces formules, aussi bien que de la simple considération des courbes, que cette résistance minima croît avec la longueur de l'arc et en raison inverse de l'intensité du courant; autrement dit, suivant une phrase très claire de l'auteur, la résistance additionnelle nécessaire est d'autant plus grande que l'arc est plus résistant.

Toutes ces formules s'appliquent à l'arc vraiment théorique, c'est-à-dire à l'arc entre charbons homogènes ; cela permet à l'auteur de pousser plus loin son analyse mathématique, en comparant la puissance dépensée par l'arc, ainsi rendu stable, à la puissance fournie par la source d'électricité qui l'alimente, et de comparer ces deux puissances pour voir l'économie de la production de l'énergie dans l'arc. Elle constate que le rapport de la puissance de l'arc à celle du générateur d'électricité est d'autant plus grande que l'arc est plus court, le courant plus intense et que la résistance extérieure et la force électromotrice d'alimentation se rapprochent davantage des valeurs minima qui permettent l'entretien de l'arc silencieux.

L'influence de la longueur de l'arc sur l'économie est peu importante. La plus petite résistance additionnelle utilisable varie en raison inverse du carré de l'intensité du courant, et dépend de la nature des charbons employés. Pour un arc de longueur fixe, le rendement économique croît avoir l'intensité du courant et en raison inverse de la résistance et de la force électromotrice extérieure. Au contraire avec une force électro-motrice donnée, il y a intérêt à allonger l'arc et à augmenter le courant. Toutes ces conclusions sont d'ailleurs évidentes.

Ces considérations sur la résistance de stabilité sont très intéressantes et admirablement développées. On peut regretter seulement qu'elles n'aient pas été complétées par une considération nouvelle qu'impose l'étude des lampes récentes fonctionnant par trois en série sans rhéostat, et que j'ai signalées dans mon rapport sur les *Progrès de l'Éclairage électrique* au Congrès de 1900 (¹) : c'est que la résistance de stabilité ne constitue pas une nécessité absolue. On ne l'a jugée nécessaire que parce que les lampes employées ne procuraient pas aux charbons les moyens de faire varier très rapidement, et cependant d'une façon amortie, la longueur de l'arc. L'expérience de nouvelles lampes, telles que celles de Vigreux et Brillé, montre qu'on peut supprimer la résistance ou tout au moins la réduire à une valeur beaucoup plus faible que la résistance théorique, en réalisant un mécanisme assez sensible et assez élastique pour permettre le rapprochement brusque des charbons aussitôt que l'arc tend à s'éteindre, et, plus généralement, en établissant une véritable balance à action rapide qui permette de proportionner à chaque instant la longueur de l'arc à sa résistance, de façon que celle-ci reste sensiblement constante. Cette manière d'opérer permet d'obtenir des rendements beaucoup plus élevés, parce qu'elle supprime presque totalement la perte dans le circuit extérieur, et peut modifier dans de larges limites les conclusions théoriques, notamment en ce qui concerne l'avantage des arcs courts sur les arcs longs.

Le chapitre x qui traite de l'arc sifflant, est certainement l'un des plus intéressants de l'ouvrage, car il renferme les recherches les plus curieuses de l'auteur. Je n'y insisterai

(¹) *Écl. Élect.*, t. XXIV, p. 342 et 464, 1ᵉʳ et 22 septembre 1900.

Digitized by Google

pas longuement ici, ayant déjà consacré à cette partie du travail de Mme Ayrton une revue complète il y a quelques années [1]. Je rappellerai seulement le résultat très inattendu auquel elle est arrivée, à savoir que le phénomène de l'arc sifflant est produit par l'arrivée de l'oxygène de l'air au contact direct du cratère où il se combine avec le charbon incandescent ; en effet rien de semblable ne se produit avec d'autres gaz tels que l'hydrogène. Le sifflement apparaît donc toutes les fois que, par suite de l'augmentation de la densité de courant, le cratère s'étend en dehors de sa dimension normale à la surface du charbon positif et remonte le long des parois coniques de ce charbon, où il n'est plus protégé par la colonne de vapeur de carbone.

L'auteur ne nous dit pas malheureusement le *pourquoi* dernier du sifflement ; c'est-à-dire comment le contact de l'air avec le carbone du cratère détermine la vaporisation irrégulière du charbon, qui se traduit par des variations rapides de courant, mises en évidence par Frith et Rodgers en 1893 et Duddell en 1902, et par des variations de section de la colonne gazeuse que j'ai montrées en 1891. Il me semble que la cause peut être attribuée au défaut de conductibilité de l'oxyde de carbone formé à la surface du cratère sur une certaine largeur à partir des bords (défaut de conductibilité qui serait à prouver par des expériences directes) ; au moment où l'air pénètre dans le cratère, la section utile de celui-ci, par laquelle le courant peut s'écouler, se trouverait donc réduite momentanément jusqu'à ce que la couche ait été refoulée ou entraînée ; ensuite le même effet se reproduirait périodiquement.

Une autre explication qui pourrait être proposée, et que je signale en passant, car elle n'est peut-être pas contradictoire avec la précédente, serait inspirée des effets curieux de vaporisation des métaux découverts par M. Bary ; quand un filet de métal fondu est parcouru par un courant intense, celui-ci tend à resserrer les molécules en mouvement par un effet électro-dynamique et produit la rupture périodique de la veine liquide par une sorte de coupure. Il est fort possible que le même effet se produise dans l'arc électrique quand l'intensité du courant dépasse une certaine limite, et permet ainsi l'accès périodique de l'air à la surface du cratère. On pourrait appuyer ces interprétations sur le phénomène de Trotter, analysé également par Mme Ayrton, et qui précède le sifflement, tant que la densité de courant n'a pas atteint la limite nécessaire. Ce phénomène consiste en une rotation rapide de l'arc sur lui-même, qui semble bien provenir également d'un effet électro-dynamique. J'ai étudié, jadis, par la photographie directe, ce phénomène qui donne à l'arc la forme d'un tourbillon, et il me semble que, lorsque la vitesse de rotation de l'arc sur lui-même s'accroît, il doit arriver un moment où il se rompt sous l'action de la force centrifuge. D'ailleurs si l'on fait tourner un arc de cette manière au moyen d'un solénoide parcouru par le courant dans une enceinte close, il est facile de constater, comme je l'ai fait, qu'il se dépose du charbon sur les parois de l'enceinte, ce qui n'a pas lieu quand on ne fait pas tourner l'arc.

On voit quel champ d'hypothèses intéressantes offre le remarquable travail de Mme Ayrton sur l'arc sifflant ; avant elle, on n'avait sur ce phénomène que des idées fausses ou absolument incomplètes.

Le chapitre XI, consacré à l'étude photométrique de l'arc électrique à courant continu, est un de ceux dont l'analyse appellerait de ma part les plus grands développements, si je ne craignais d'allonger à l'excès cette revue. C'est une véritable étude d'ensemble de toutes les conditions qui influent sur le rendement lumineux, que donne ici Mme Ayrton, en s'ap-

---

(1) Sur l'arc sifflant, par Hertha AYRTON, *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 388, 10 juin 1899.

Digitized by Google

puyant à la fois sur ses propres travaux, sur ceux de son mari, de M. Trotter et de l'auteur de la présente Revue.

Elle part d'abord de la loi de Trotter, suivant laquelle la lumière de l'arc peut être considérée comme émise entièrement par le cratère, et donne lieu, par suite, à une intensité lumineuse variable suivant la loi du cosinus, sauf la modification produite par l'ocultation due au charbon négatif. Des dessins exacts du cratère et du charbon négatif relevés sur les projections permettent de vérifier cette loi numériquement. En étudiant ces figures, l'auteur découvre, et confirme par les résultats des autres expérimentateurs, que les courbes reliant l'intensité moyenne sphérique à la longueur de l'arc doivent présenter un minimum de rendement pour une longueur de l'arc voisine de 3 mm (rendement plus faible que celui obtenu sous des longueurs plus petites) et un maximum pour une longueur peu supérieure à 4 mm. Ce résultat concorde avec celui bien connu indiqué jadis par l'auteur de cette revue et par le professeur Ayrton, que le rendement passe par un maximum pour un certain voltage. De la considération de l'ocultation du négatif Mme Ayrton déduit ce résultat, un peu surprenant, que l'on ne gagne rien en augmentant l'écart au delà du minimum qui permet à un arc de ne pas siffler; et qu'en tenant compte de la résistance extérieure nécessaire, le fonctionnement de l'arc le plus économique serait celui qui correspondrait au plus petit écart possible. La pratique ne semble pas avoir confirmé jusqu'ici, malheureusement, ce résultat théorique; d'une part, comme je le disais ci-dessus, parce que la résistance de stabilité peut être réduite plus que ne l'indique la théorie, et, d'autre part, parce qu'un arc si voisin de l'arc sifflant ne donnerait aucune sécurité de fonctionnement, le mécanisme n'étant pas assez délicat pour maintenir un pareil écart constant.

Un autre sujet captivant que traite le même chapitre est celui de l'explication de ces variations du rendement en fonction de la longueur, et aussi en fonction des diamètres des charbons; on sait, en effet, et Mme Ayrton le démontre de façon nouvelle, que l'on augmente très notablement le rendement en réduisant le diamètre non seulement du négatif, ce qui s'explique facilement par la réduction d'occultation, mais encore du positif. Mme Ayrton propose de ce dernier fait une explication très ingénieuse qui m'avait échappée autrefois, à savoir qu'en augmentant le diamètre des charbons commerciaux, on se trouve employer, en fait, des mèches de diamètre plus gros, et par conséquent augmenter la proportion de silicate alcalin dans l'arc, ce qui réduit, comme on le sait, le rendement.

Cette explication permet à Mme Ayrton de proposer une théorie d'ensemble de la question du rendement de l'arc fondée tout entière sur l'hypothèse de Abney et Violle, que la température du cratère d'un arc est constante, indépendamment de toutes les conditions de régime, et que par suite le cratère présente un éclat constant. Cette température serait celle de l'ébullition du carbone ou de la sublimation, comme dit Mme Ayrton. Pour celle-ci tous les effets de diminution de rendement dus à l'allongement de l'arc s'expliqueraient alors simplement par des phénomènes d'absorption de lumière, comme elle l'a déjà exposé au Congrès International des Electriciens de 1900, en s'appuyant sur quelques expériences : elle montre que l'arc produit, quand on l'éclaire par derrière, une ombre qui cache légèrement l'image des objets placés derrière lui, et que la lumière devient plus violette quand on allonge l'arc, comme si le plus grand volume de celui-ci produisait une absorption plus forte de rayons jaunes et verts émis par le cratère.

Malheureusement cette théorie ne me paraît pas fondée en fait, pour deux motifs :

1° Le pouvoir absorbant de l'arc ne paraît pas suffisant pour expliquer la diminution de lumière considérable observée quand on l'allonge au delà de 4 mm; d'ailleurs, en vertu de la loi bien connue de Kirchhoff, les vapeurs absorbent particulièrement les radiations

Digitized by Google

qu'elles émettent ; or l'arc gazeux proprement dit a un pouvoir émissif particulièrement concentré dans la région violette du spectre et ne doit absorber, par conséquent, notablement que des radiations violette et bleue, c'est-à-dire justement le contraire du rôle qu'on lui prête.

2° Il est prouvé que le pouvoir émissif du cratère à l'air libre n'est pas constante, ni, par suite, sa température moyenne constante. J'ai cru longtemps à cette constance, mais j'ai dû me rendre à l'évidence après de nombreuses expériences, ainsi que je l'ai exposé dans un précédent travail et que M. Rey l'a fait connaître d'une manière encore plus complète dans une récente communication sur nos travaux communs [1]. De ces recherches il résulte, en effet, que l'éclat moyen du cratère augmente dans des proportions considérables (par exemple de 120 à 240 bougies par millimètre carré) quand on fait varier l'intensité de quelques ampères jusqu'à 200 ou 300 ampères. Il en résulte qu'on doit admettre désormais qu'il y a plutôt *évaporation* générale à la surface du cratère qu'ébullition (les deux phénomènes ne sont pas d'ailleurs en contradiction complète, car il est probable qu'il y a ébullition proprement dite en certains points, constamment variables, parce que la base de l'arc se déplace à la surface du cratère, et notre œil perçoit seulement l'effet moyen qui est celui d'une évaporation, activée temporairement). Le degré d'incandescence moyen du cratère peut donc être très variable suivant les conditions de fonctionnement et en particulier suivant le refroidissement, et suivant le rapport de la surface d'évaporation à l'intensité du courant qui le traverse. Dans les arcs très puissants l'éclat est augmenté surtout parce que le refroidissement est plus faible ; il l'est aussi parce que l'aire du cratère croît moins vite que l'intensité du courant, ainsi qu'il résulte des expériences mêmes de Mme Ayrton.

Si l'on applique les mêmes considérations à l'allongement de l'arc, on constate, toujours d'après Mme Ayrton, que l'aire du cratère, à intensité de courant constante, croît très notablement avec la longueur de l'arc et d'autant plus que l'intensité du courant elle-même est plus faible. Comment concilier cette constatation avec l'hypothèse d'un éclat constant par unité de surface du cratère, suivant l'hypothèse de Mme Ayrton ? Cela me paraît absolument impossible. Au contraire, il est très facile dans l'hypothèse de l'évaporation, que je viens de rappeler, d'admettre que la température moyenne du cratère est d'autant plus faible que la densité de courant à travers ce cratère est elle-même plus petite ; comme, d'après la loi de Stéfan, le charbon incandescent, qui suit la loi des corps noirs, émet une radiation proportionnelle à la quatrième puissance de la température, il n'y a rien d'étonnant à ce qu'une faible diminution de celle-ci, produite par l'augmentation de surface du cratère, accompagnée d'un refroidissement plus grand, produise une diminution très notable de l'éclat, et par conséquent du rendement lumineux, qui en est fonction. On explique ainsi aisément, sans tenir compte de l'absorption de l'arc, que la lumière diminue, à intensité de courant égale quand on augmente l'écart entre les charbons. Comme, d'autre part, la résistance de la colonne gazeuse augmente avec sa longueur, et par suite aussi la différence de potentiel nécessaire, l'énergie dépensée dans l'arc continue à croître, et la diminution du rendement lumineux a lieu ainsi d'autant plus vite.

Le dernier chapitre, consacré au mécanisme de l'arc électrique, et qui reproduit en grande partie un mémoire présenté par Mme Ayrton à la Royal Society le 20 juin 1901, constitue la synthèse de tout l'ouvrage, et un essai tout à fait remarquable de l'explication générale des phénomènes de l'arc. Je n'y insiste pas ici parce que je consacre d'autre part

---

[1] Sur l'éclat des gros arcs à courant continu, par J. Rey. *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, 8 juillet 1902. Nos conclusions ne s'étendent pas au cas différent étudié par M. Violle, c'est-à-dire l'arc *enfermé dans une enceinte* isotherme.

Digitized by Google

un article complet (1) à l'examen de cet intéressant chapitre et à sa discussion; il repose comme le précédent, sur l'hypothèse de la température constante du cratère. Mais, quelle que soit le sort de cette hypothèse, il conserve toute sa valeur, car les résultats qu'il contient et les courbes auxquelles il conduit en sont, au fond, indépendantes. Je ne saurais trop recommander la lecture de ce chapitre à tous ceux qui s'intéressent à l'arc, car il contient en quelques pages un résumé de toutes ses propriétés principales, et donne une clé pour prévoir tous les effets qu'on peut attendre d'une variation de régime. Il constitue ainsi une conclusion digne de l'important ouvrage qu'il termine. Il est suivi de quelques appendices sur la photométrie, qui complètent le chapitre x, et d'une liste supplémentaire bibliographique se rapportant aux travaux retrouvés après l'impression du livre. On ne saurait trop louer et la conscience et le soin avec lesquels a été dressée la bibliographie ; ils confirment une remarque générale qu'on a pu faire, à savoir, que les auteurs qui ont le plus de soin de citer les travaux des autres sont ceux qui ont eux-mêmes à leur actif le plus de recherches personnelles et qui, par ce fait même, savent mieux rendre justice à leurs devanciers. J'ai d'autant plus le devoir de rendre cet hommage à Mme Ayrton qu'elle a bien voulu faire, dans tout son ouvrage, une part très large à mes propres recherches.

Le soin avec lequel ce volume a été imprimé fait honneur aux éditeurs et à la collection de l'*Electrician* dont il fait partie ; la typographie et les figures sont également parfaites ; il se termine par une table alphabétique très complète qui rend les recherches très faciles ; une table analytique des matières et une table des illustrations en tête du volume ajoutent à la facilité des recherches, et achèvent, si c'est possible, de recommander cet ouvrage à toutes les bibliothèques universitaires ou techniques. A. Blondel.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

DE LA LIGNE DES INVALIDES A VERSAILLES (2)

II. Usine centrale. — Machinerie électrique (*Suite.*)

Salle des générateurs. — La salle des générateurs (fig. 4 et 11), de même longueur que la salle des machines, a une largeur de 14 m. Les fondations étant moins profondes que celles de la salle des machines, il n'a pas été nécessaire d'établir, comme pour celle-ci, une cuvette de béton et l'on s'est contenté d'un radier de 0,500 m d'épaisseur.

Les générateurs, au nombre de 27, construits par la maison Meunier, de Lille, sont du type semi-tubulaire à bouilleurs. Ce genre de chaudière est celui qui paraît se prêter le mieux au service des usines de traction où la charge est très variable. Il est en outre d'un entretien facile.

La surface de chauffe de chaque générateur est de 250 m².

Un petit pont roulant se déplace le long des générateurs au niveau de la partie inférieure du corps cylindrique et sert pour le nettoyage des tubes.

Sous la chaufferie règne un carneau qui communique par des trappes avec les sas placés sous les grilles des générateurs. En ouvrant ces trappes on fait tomber les escarbilles dans des wagonnets que l'on roule jusqu'à une fosse creusée dans le sol de la cour. Une noria

(1) Cet article paraîtra dans un prochain numéro.
(2) Voir le précédent numéro, p. 341.

Digitized by Google

mue électriquement puise les escarbilles dans cette fosse et les déverse dans les wagons servant à leur transport.

Une voie courant le long de la façade de la salle des générateurs sert à amener le combustible venant par le chemin de fer aux soutes placées en face des foyers. La même voie permet d'évacuer les wagons de mâchefers. L'approvisionnement de combustible peut se faire également par voie d'eau. Une petite voie Decauville relie à cet effet l'usine au port situé de l'autre côté de la route, le long du quai de Seine.

Les gaz de la combustion s'échappent par trois cheminées de 50 m de hauteur et de 3,20 m de diamètre intérieur à la base. Ces cheminées ont été établies sur pilotis foncés jusqu'à la craie qui constitue le terrain solide du sous-sol. Chacune d'elles peut être isolée par un registre du carneau collecteur de fumée. Les générateurs sont reliés par un collecteur de vapeur sur lequel sont branchées les canalisations des machines. Nous n'insisterons pas sur les appareils d'isolement et de sécurité qui ne présentent pas de dispositions spéciales.



Fig. 11. — Usine des Moulineaux. Chaufferie.

Alimentation d'eau. — Les générateurs sont alimentés normalement par l'eau de condensation refoulée par les pompes mues directement par les machines à vapeur des groupes électrogènes principaux. Des petits chevaux alimentaires à vapeur servent de secours. Ils peuvent prendre l'eau soit au collecteur d'alimentation, soit à un réservoir relié à la canalisation d'incendie. Cette canalisation est desservie par un réservoir de 150 m³ recevant l'eau de la ville ; elle se partage en deux branches traversant de bout en bout l'une la salle des machines, l'autre la salle des générateurs.

Annexes. — Dans la cour de droite de l'usine se trouvent plusieurs bâtiments renfermant des services annexes. L'un d'eux, au bord du quai de Seine, est occupé par les bureaux. Un autre bâtiment à deux travées renferme d'une part le magasin et d'autre part un atelier de réparation. Enfin les lavabos occupent une petite construction en bordure du quai.

La cour de gauche sert principalement de dépôt de combustibles et peut contenir un approvisionnement de 6 000 tonnes de charbon et briquettes.

Dans cette cour est placée la salle des pompes (fig. 12) qui servent à puiser à la Seine l'eau servant à la condensation et à l'alimentation. Ce service est assuré par 4 pompes centrifuges Salmson pouvant débiter chacune 1 000 m³ à l'heure, actionnées directement par des moteurs électriques de 60 chevaux tournant à 500 tours par minute. L'eau est refoulée dans un réservoir de 300 m³ de capacité ; deux conduites, l'une en maçonnerie, l'autre en fer l'amènent au collecteur placé sous la salle des machines où elle est puisée par les pompes des condenseurs. Le trop-plein des eaux de condensation est évacué à la Seine par un égout passant sous la cour de droite.

Digitized by Google

Atelier et laboratoire d'essais. — Enfin les installations de l'usine sont complétées par un atelier et un laboratoire d'essais occupant un bâtiment placé dans la cour de gauche. Ce laboratoire est organisé pour effectuer sur place des essais de machines de faible puissance, des mesures et des étalonnages et, de plus, il sert de dépôt pour les appareils servant aux vérifications à faire au dehors dans les différentes installations électriques de la Compagnie.

Un petit atelier lui est annexé, lui permettant de faire les réparations aux appareils de faibles dimensions tels que compteurs, lampes à arc, etc.

Telle est dans ses grandes lignes l'organisation de la station centrale des Moulineaux. Cette usine, une des plus puissantes installées en France avec groupes électrogènes à vapeur, n'a certainement pas encore son utilisation complète. Cependant, en plus du service des trains de la Compagnie de l'Ouest et des tramways de l'Ouest parisien, elle fournit du courant au chemin de fer métropolitain. Il faut remarquer de plus que le trafic de la ligne des Invalides à Versailles n'a pas encore tout son développement. D'autres installations qui emprunteront de l'énergie à l'usine des Moulineaux sont d'ailleurs soit en cours d'exécution, soit en projet. C'est ainsi que l'on installe actuellement une sous-station très importante destinée à fournir la force motrice à la gare des marchandises et au dépôt de Batignolles ainsi qu'aux ateliers de Batignolles et de Levallois. Il est à prévoir en outre que la traction électrique sera étendue à d'autres lignes de banlieue.

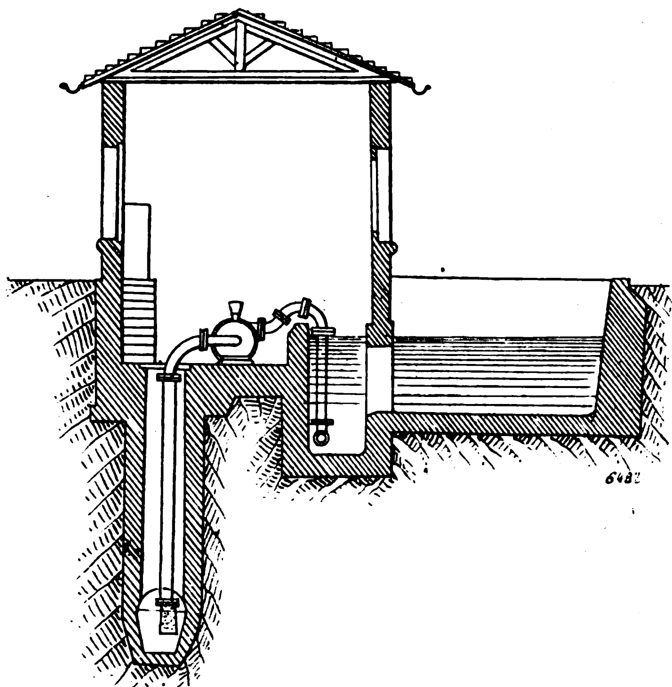


Fig. 12. — Usine des Moulineaux. Coupe en travers de la salle des pompes et du réservoir de 300 m³.

III. Réseau et sous-stations

Réseau a haute tension. — Ainsi que nous l'avons dit le réseau à haute tension est constitué entièrement en câbles souterrains à trois conducteurs du système Berthoud-Borel Les câbles sont posés le long des voies. Les figures 13 et 14 indiquent les dispositions prises pour garnir la fouille et protéger la canalisation. Au passage des ouvrages d'art le câble est placé dans un drain flamand ou dans un petit caniveau en briques rempli de sable. La pose s'est effectuée au moyen d'un wagon spécial sur lequel la bobine était placée de manière à pouvoir tourner autour de son axe disposé verticalement. Une petite locomotive de manœuvre était affectée à ce service. La pose a pu ainsi être menée très rapidement.

Quatre types de câbles ont été employés, correspondant à des sections de chaque conducteur de 25, 100, 125, 150 mm².

La figure 15 indique les dispositions générales du réseau à haute tension. On voit que toutes les sous-stations sont desservies par deux câbles.

Les 4 câbles qui partent du tableau des compteurs de l'usine des Moulineaux dans la

Digitized by Google

direction du Champ-de-Mars viennent aboutir à une cabine de sectionnement, placée à l'embranchement de la ligne des Invalides à Saint-Lazare. Les câbles venant de l'usine au tableau de la cabine et ceux qui partent dans les directions du Champ-de-Mars, des Invalides et de

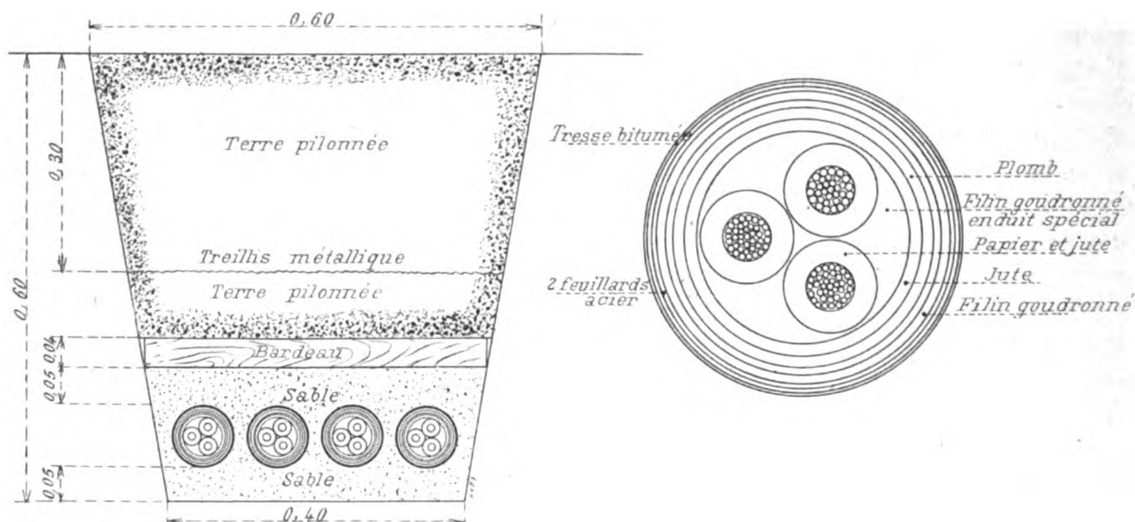


Fig. 13. — Coupe d'une tranchée montrant la pose des câbles et coupe type d'un câble triphasé.

Saint-Lazare aboutissent à des barres collectrices par l'intermédiaire d'interrupteurs. Cette cabine unique placée au centre de la partie la plus importante du réseau a paru plus avantageuse que les boîtes de sectionnement échelonnées primitivement prévues. Il est certain

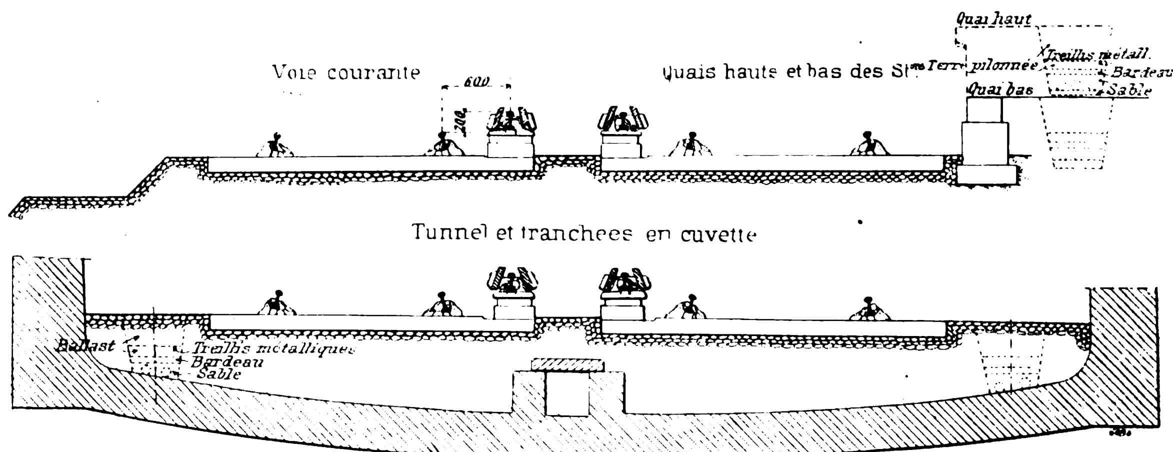


Fig. 14. — Coupe en travers des voies, montrant la pose des câbles et du rail conducteur.

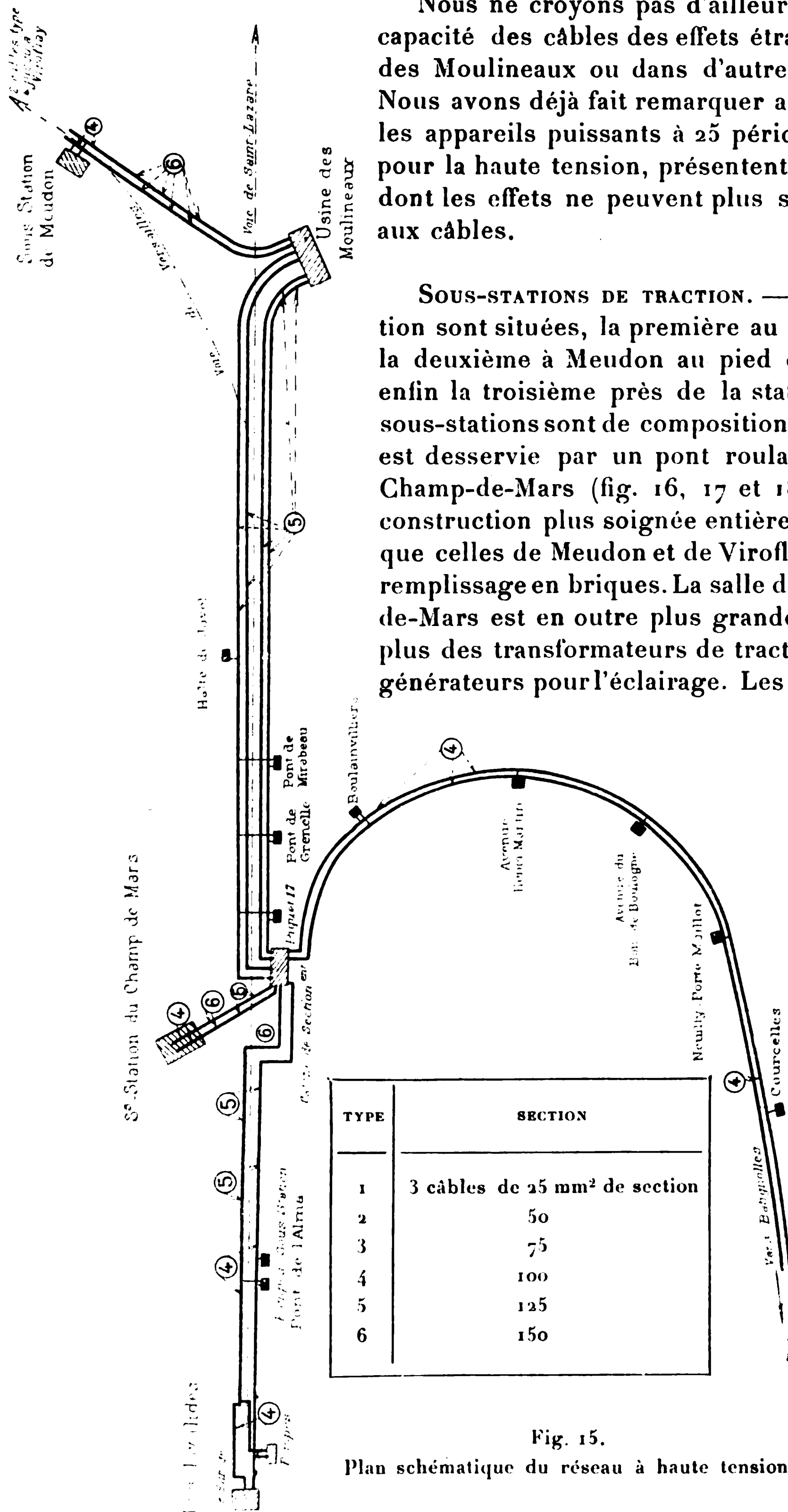
que tous les câbles étant doublés, il ne paraît pas indispensable de multiplier les coupures qui constituent nécessairement, quelques précautions que l'on prenne, des points faibles dans les canalisations. Ce réseau à haute tension a toujours très bien fonctionné. Il ne faut pas en effet tenir compte des quelques claquages inévitables dans les premiers mois et qui proviennent des points faibles causés par des négligences ou des accidents au moment de la pose.

Digitized by Google

Nous ne croyons pas d'ailleurs qu'il faille attribuer à la capacité des câbles des effets étranges remarqués à l'usine des Moulineaux ou dans d'autres parties des installations. Nous avons déjà fait remarquer au début de cet article que les appareils puissants à 25 périodes, enroulés directement pour la haute tension, présentent une capacité considérable dont les effets ne peuvent plus se distinguer de ceux dus aux câbles.

Sous-stations de traction. — Les sous-stations de traction sont situées, la première au dépôt du Champ-de-Mars, la deuxième à Meudon au pied du viaduc du Val-Fleury, enfin la troisième près de la station de Viroflay. Ces trois sous-stations sont de composition identique ; chacune d'elles est desservie par un pont roulant de 6 tonnes. Celle du Champ-de-Mars (fig. 16, 17 et 18) occupe un bâtiment de construction plus soignée entièrement en maçonnerie, alors que celles de Meudon et de Viroflay sont en pans de fer avec remplissage en briques. La salle de la sous-station du Champ-de-Mars est en outre plus grande parce qu'elle contient, en plus des transformateurs de traction, des groupes moteurs-générateurs pour l'éclairage. Les groupes de transformation sont au nombre de 4 par sous-station, chacun d'eux d'une puissance de 300 kilowatts pouvant être portée à 450 kilowatts pendant quelques minutes. Le démarrage des convertisseurs s'opère au moyen du courant continu. Comme l'installation ne comporte pas de batteries d'accumulateurs, on a dû prévoir le cas du démarrage initial. A cet effet chaque sous-station renferme un groupe composé d'un moteur asynchrone entraînant directement une génératrice à courant continu qui fournit le courant nécessaire à la mise en marche des groupes principaux.

Les deux câbles ame-



TYPE	SECTION
1	3 câbles de 25 mm² de section
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150

Fig. 15.
Plan schématique du réseau à haute tension.

Digitized by Google

nant le courant triphasé à 5000 volts aboutissent à deux panneaux du tableau de distribution.

Sur chacun d'eux, sont montés des plombs fusibles à expulsion, un interrupteur à huile, un ampèremètre, un compteur, que le courant doit traverser avant d'arriver aux barres de distribution, d'où il va aux transformateurs des commutatrices et du groupe de démarrage.

A chaque machine correspondent deux panneaux du tableau, l'un pour le courant alternatif, l'autre pour le courant continu.

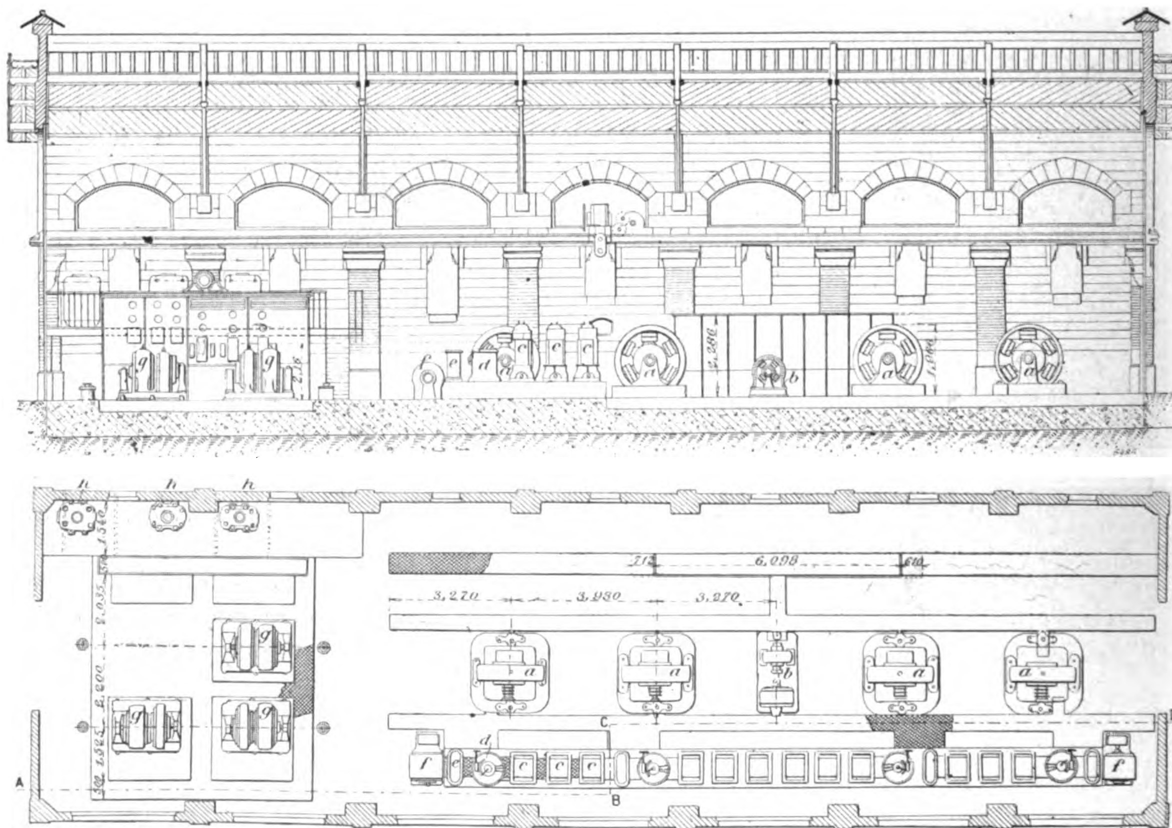


Fig. 16 et 17. — Sous-station du Champ-de-Mars. Coupe longitudinale. Plan.

a, Commutatrice de 300 kilowatts. — *b*, Groupe de démarrage. — *c*, Transformateur de 110 kilowatts. — *d*, Régulateur de potentiel. — *e*, Bobine de réaction. — *f*, Ventilateur. — *g*, Groupe moteur-générateur de 60 kilowatts. — *h*, Transformateur de 90 kilowatts.

Sur chaque panneau à courant alternatif des commutatrices, sont montés des fusibles, un interrupteur à huile pour le couplage et un ampèremètre sur les circuits primaires des transformateurs. Ces panneaux comportent, en outre, les appareils nécessaires à la synchronisation, à savoir un voltmètre et une lampe de phase. A l'inverse de la pratique adoptée à l'usine des Moulineaux, le couplage s'effectue quand la lampe brille, chaque commutatrice ayant un transformateur de synchronisation à deux primaires, branchés respectivement sur la ligne et sur le primaire d'un des transformateurs du groupe.

Le panneau à courant alternatif du groupe de démarrage a les mêmes dispositions que ceux des groupes principaux, moins les appareils de synchronisation.

Sur chaque panneau à courant continu, sont montés : un disjoncteur automatique,

Digitized by Google

deux interrupteurs principaux et un ampèremètre, intercalés dans le circuit amenant le courant des commutatrices aux barres collectrices.

Le panneau comporte, en outre, le rhéostat d'excitation de la commutatrice, avec deux interrupteurs de champ, dont l'un sert uniquement au moment de la mise en marche, un commutateur à fiches pour le voltmètre et un interrupteur permettant d'envoyer le courant de la commutatrice dans les circuits d'éclairage de la sous-station.

Deux panneaux de ligne à courant continu, comportant chacun des interrupteurs, un disjoncteur, un parafoudre, un ampèremètre et un compteur, permettent d'isoler la sous-station de la voie électrique.

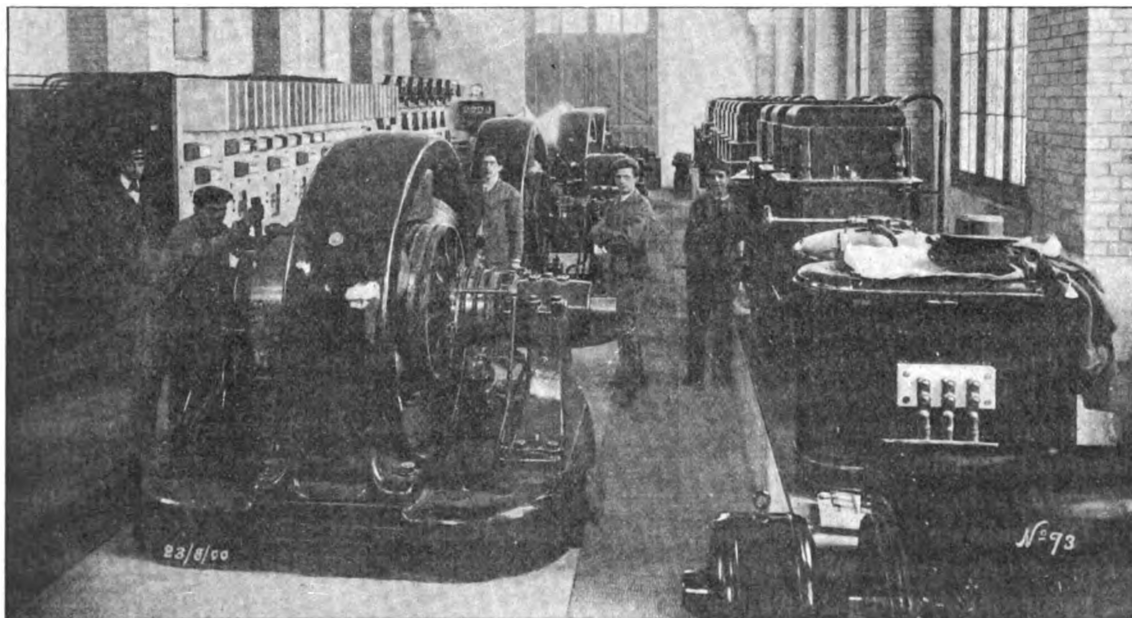


Fig. 18. — Sous-station du Champ-de-Mars.

Avant d'arriver aux commutatrices, le courant secondaire à 350 volts des transformateurs traverse un régulateur de potentiel destiné à faire varier, s'il est nécessaire, la tension du courant débité dans une plus large mesure que si l'on disposait uniquement du réglage par l'excitation. Le courant alternatif à basse tension passe encore à travers une bobine de self-induction avant d'arriver aux bagues de la commutatrice. Cette bobine a pour but de compléter l'effet de l'enroulement-série additionnel dont est pourvu l'inducteur, ainsi que nous allons l'expliquer.

Lorsqu'on alimente une commutatrice sous tension alternative constante, il existe une certaine valeur de l'excitation pour laquelle le courant se trouvera en phase avec la différence de potentiel. Cette excitation est celle qu'il faudrait employer pour reproduire la tension fournie, si on faisait tourner la commutatrice comme alternateur à la vitesse du synchronisme. Lorsqu'on charge la commutatrice en maintenant l'excitation à sa valeur primitive, comme on peut assimiler le courant qui la traverse à la superposition d'un courant continu et d'un courant alternatif, les champs produits par ces deux courants doivent s'opposer exactement. Il n'y aura ni déphasage du courant alternatif, ni déplacement de la ligne des balais. La baisse de tension à la sortie du collecteur à courant continu se réduira

Digitized by Google

à la chute ohmique dans l'induit. Mais, en général, la commutatrice étant branchée aux bornes d'un transformateur de même puissance qu'elle, la tension du courant fourni baisse notablement quand la charge augmente.

L'effet de cette baisse de tension se répercutera sur le courant continu et, d'autre part, la phase de la tension fournie sera en avance sur celle du courant; il faudrait alors caler les balais en avant. Mais, avec une commutatrice shunt, l'excitation diminue en même temps que la tension aux bornes; de sorte que ce dernier effet contrebalance, jusqu'à un certain point, le précédent au point de vue du déphasage et du décalage des balais. On voit donc que, pour obtenir une tension constante et un calage de balais fixe, il faut faire croître avec la charge : d'une part, l'excitation, et d'autre part, la tension des courants alternatifs fournis.

C'est à ce double but que l'on parvient, par l'emploi du compoundage additionnel et de la bobine de self-induction. Le courant est toujours en avance sur la tension aux bornes de la commutatrice, mais sensiblement en phase avec la tension aux bornes du transformateur qui se trouve ainsi dans les meilleures conditions de fonctionnement.

Les données principales des appareils de la sous-station sont les suivantes :

Commutatrices. — Les commutatrices (fig. 19) sont à 6 pôles, tournant par suite à 500 tours par minute. Elles ne présentent pas de dispositions particulièrement intéressantes à signaler. Le collecteur à courants alternatifs est à 3 bagues. On préfère aujourd'hui à cette disposition celle à 6 bagues, qui donne une meilleure utilisation des machines, mais à laquelle on n'avait pas encore pensé à l'époque où les sous-stations de la ligne des Invalides à Versailles ont été construites.

Les pôles inducteurs sont en acier et la culasse en fonte. Il n'y a pas d'autres amortisseurs que les pièces polaires massives et les joues en bronze des carcasses de bobines.

Transformateurs. — Les transformateurs sont à insufflation d'air, ainsi d'ailleurs que les régulateurs de potentiel et les bobines de self-induction.

Tous ces appareils sont montés sur un caniveau surélevé dans lequel deux ventilateurs, mûs par moteurs asynchrones recevant le courant des secondaires des transformateurs, produisent un courant d'air énergique.

Chaque commutatrice est alimentée par trois transformateurs monophasés de 110 kilowatts, dont les circuits primaires et secondaires sont montés en triangle. Ces transformateurs sont du type cuirassé. Le courant d'air y circule, d'une part à travers les intervalles de ventilation ménagés dans les paquets de tôles et, d'autre part, entre les bobines qui sont au nombre de 7, 4 primaires et 3 secondaires. Deux registres permettent de régler la ventilation et, au besoin, de la supprimer complètement quand l'appareil n'est pas en service. Ces transformateurs ont été établis très judicieusement, en considération du service qu'ils ont à fournir, qui ne comporte pas de marche à vide prolongée, c'est-à-dire que les pertes dans le cuivre ont été réduites au minimum, alors que l'on n'a pas cherché à obtenir un faible courant à vide et peu de pertes dans le fer. L'emploi de la ventilation forcée permet d'ailleurs de réduire les dimensions de l'appareil, la surface de refroidissement pouvant être plus faible que dans un transformateur à ventilation naturelle.

Régulateur de potentiel. — Cet appareil est établi sur un principe bien connu.

Il se compose de deux anneaux concentriques présentant respectivement les dispositions des deux parties d'une machine d'induction, c'est-à-dire destinées toutes deux à produire des champs tournants.

L'un de ces anneaux porte un enroulement traversé par les courants allant des transformateurs à la commutatrice; l'autre porte des dérivations prises aux bornes des trans-

Digitized by Google

formateurs, qui induisent dans l'enroulement à gros fil une force électromotrice de valeur efficace sensiblement constante, si l'on néglige la réaction du courant principal.

En déplaçant les deux anneaux l'un par rapport à l'autre, on peut modifier à volonté la manière dont cette force électromotrice se compose avec la tension principale, de telle sorte que l'on obtient à volonté, aux bornes de sortie du compensateur, une différence de potentiel variant entre deux limites extrêmes. Ces deux limites correspondent au cas où la force électromotrice supplémentaire s'ajoute ou se retranche directement à la force électromotrice principale.

Les anneaux sont à 4 pôles; on peut les décaler l'un par rapport à l'autre d'un intervalle

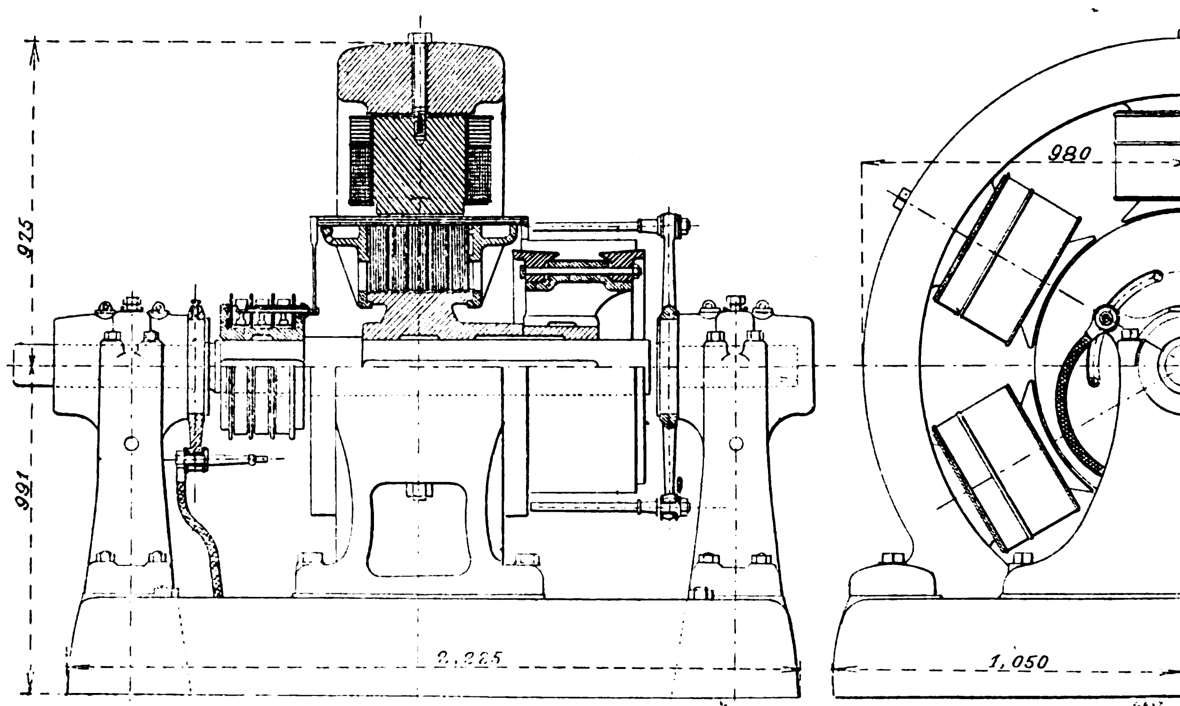


Fig. 19. — Sous-stations de traction. Commutatrice de 300 kilowatts.

polaire, soit un quart de circonférence, au moyen d'un volant à vis. La variation relative de tension que l'on peut obtenir atteint 10 p. 100.

Bobine de self-induction. — La bobine de self-induction est constituée par trois noyaux réunis à une seule extrémité par une culasse parallélipipédique, les lignes de force se fermant dans l'air à l'autre extrémité. Chaque noyau porte l'enroulement correspondant à une des phases, avec un nombre de spires moindre sur celui du milieu pour tenir compte de l'inégale dispersion aux extrémités des noyaux.

Groupe de démarrage. — Le moteur de ce groupe est à quatre pôles, alimenté à 440 volts, par un transformateur spécial.

L'induit est en cage d'écureuil.

Le démarrage s'effectue en intercalant des bobines de self-induction dans les circuits du stator.

La génératrice peut fournir 45 kilowatts, puissance largement suffisante pour le démarrage d'une commutatrice à vide.

Tableau de distribution. — Le tableau est constitué par une série de panneaux indé-

****

Digitized by Google

pendants, montés côte à côte sur une longrine scellée dans le sol. Toutes les connexions sont faites sur la face arrière où sont, en outre, placés un certain nombre des appareils de manœuvre, dont les poignées dépassent seules sur la face avant. Le tableau est relié aux transformateurs par des canalisations aériennes en fil isolé et aux machines par des câbles en caniveau.

Les dispositions de ces sous-stations sont bien appropriées à leur service. Leur fonctionnement n'a jamais laissé à désirer, et ceci est à retenir, car, en raison de l'absence d'accumulateurs, les machines reçoivent directement les à-coups de traction. Nous pensons, d'ailleurs, qu'au point de vue de la sécurité de marche, il vaut bien mieux faire supporter des surcharges et des variations brusques de régime à des appareils mécaniques, qui peuvent être établis aussi solidement que l'on veut, qu'à des accumulateurs, toujours, quoi qu'on fasse, beaucoup plus délicats.

En ce qui concerne la dépense d'installation, elle est incontestablement moindre avec des machines seules qu'avec accumulateurs.

Le prix d'achat et d'installation de la batterie fait généralement bien plus que compenser la différence de puissance qu'il faut donner aux machines et l'accroissement du poids de cuivre dans la ligne. De plus, le service d'une sous-station est bien plus simple lorsqu'il n'y a pas d'accumulateurs ; enfin, à moins de coïncidence bien improbable, on n'a jamais à craindre, en cas d'avarie, la mise hors service de plus d'un groupe, c'est-à-dire généralement du tiers ou du quart de la station ; alors qu'une avarie à une batterie modifie complètement la marche de l'installation. Au point de vue de l'économie d'exploitation, il y a lieu, à notre avis, d'être très réservé dans les comparaisons que l'on peut faire entre les installations avec ou sans accumulateurs. Car la question est très complexe. Telle usine se prêtera plus ou moins bien à un fonctionnement économique en marche variable, suivant le type adopté pour les machines et surtout pour les chaudières, et aussi suivant la puissance unitaire des groupes électrogènes. L'usine des Moulineaux a été prévue dès le début pour un fonctionnement sans accumulateurs.

A tous les essais qui ont été effectués, on a constaté ce fait, qui semble assez singulier au premier abord, c'est que la consommation de combustible par kilowatt-heure produit est sensiblement la même à demi-charge qu'à pleine charge. Cette particularité doit tenir à ce que, d'une part, les machines ont un bon rendement organique, d'autre part à ce que la vaporisation du groupe de trois chaudières affecté à l'essai d'une machine est meilleure à l'allure de la demi-charge qu'à celle de la pleine charge. On ne peut pas, de résultats d'essais effectués dans des conditions naturellement favorables, tirer des conséquences rigoureuses pour la marche pratique, au point de vue des valeurs absolues des chiffres de consommation. Mais les valeurs relatives aux divers régimes de charge restent les mêmes. Il n'y a plus à tenir compte que du déchet causé par la nécessité de maintenir la pression avec une charge qui varie à chaque instant. Les générateurs semi-tubulaires, avec leur grand volume d'eau et leur volant de chaleur considérable, se prêtent bien à ce régime lorsque, comme c'est le cas aux Moulineaux, les variations de charge se produisent à intervalles rapprochés, sans que le maximum se maintienne trop longtemps.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs, l'avis des ingénieurs de la Compagnie de l'Ouest est que l'absence de batteries-tampons ne paraît pas augmenter les frais d'exploitation, et peut même donner lieu à une économie, qui tiendrait à ce que la charge des batteries absorbe inutilement une certaine quantité d'énergie.

On pourrait enfin reprocher à l'absence d'accumulateurs dans les sous-stations de faire

Digitized by Google

subir au réseau des variations de fréquence et de tension au moment des démarrages des trains. Ces variations sont absolument sans importance au point de vue du service de traction proprement dit. Nous y reviendrons quand nous parlerons de l'éclairage.

(*A suivre.*)

F. GUERY.

L'HYPOTHÈSE DES ÉLECTRONS
ET LA CORRÉLATION DES FORCES PHYSIQUES

DEUXIÈME PARTIE. — THÉORIE ÉLECTRONIQUE DES RADIATIONS ET DE LA GRAVITATION [1].

Le professeur A. Righi faisait, le 7 mars de cette année, à la section de Bologne de la Société Electrotechnique italienne, une conférence sur « *Le mouvement des ions dans les décharges électriques* » [2], dans laquelle il donnait une explication très complète de la théorie des électrons dans le but de montrer les bases solides qu'elle possède, car aujourd'hui disait-il, on n'ose pas même formuler une hypothèse si elle n'est pas apte à expliquer même quantitativement de nombreux phénomènes et en indiquer de nouveaux, que l'expérience doit ensuite confirmer.

M. Righi considère aussi les électrons comme les atomes de l'électricité, faisant observer que le plus grand nombre des physiciens admet des électrons positifs et des électrons négatifs, comme quantités égales en valeur absolue *des deux espèces d'électricité*, bien qu'il semble qu'on ait seulement la preuve de l'existence des électrons négatifs séparés et indépendants de la matière pondérable. Mais, M. Righi ajoutait : *A ces électrons il faut attribuer certaines propriétés, pour pouvoir avec eux construire un modèle complet des phénomènes électriques, et en premier lieu la propriété de s'attirer ou de se repousser suivant les lois connues de Coulomb. Pourtant ces forces réciproques entre électrons on les suppose comme n'étant qu'apparemment des actions à distance, et comme dues en réalité aux pressions de l'éther, précisément comme les forces électriques entre les corps électrisés, suivant la théorie de Maxwell, laquelle conserve toute son importance et validité.* [3]. J'ai transcrit ici ces phrases de M. Righi, car elles mettent nettement en évidence que c'est la forme cinétique de l'électron qu'il faudra chercher à reconnaître si l'on veut amener l'accord des différentes théories et avant tout des diverses interprétations d'une même théorie. En effet ce ne sont pas les électrons, mais les atomes électrisés, c'est-à-dire les ions qui, semblent avoir la propriété de s'attirer ou de se repousser, et ce sont les électrons qui, étant les charges, ou les éléments de l'électricité, doivent contenir en eux-mêmes la cause mécanique qui produit ces actions apparentes entre les corps électrisés. Ces actions sont dues aux fonctions des électrons et constituent ce que nous appelons l'électricité.

En admettant qu'en réalité les forces électriques entre deux corps électrisés sont dues aux pressions de l'éther, on reconnait que ce dernier est la vraie source des forces électriques; il faut donc conclure que c'est lui-même qui joue le rôle d'électricité, et que, par ses re-

(1) Voir la première partie dans *L'Écl. Élec.*, t. XXXVII, p. 281, 21 novembre 1903.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, n° 21, du 23 mai 1903, p. 318.

(3) Il moto dei ioni nelle scariche elettriche, per il Prof. A. RIGHI. *Edit. Zanichelli*, 1903, p. 5.

Digitized by Google

lations avec les atomes pondérables, il donne naissance à tous les phénomènes que nous attribuons à l'électricité. M. Poynting a dit : *En examinant le tissu de la nature, nous en donnons la solution par des fils d'éther sur lesquels sont disséminés des grains de matière. Puis nous y regardons de plus près ; les grains de matiere s'évanouissent ; ce ne sont plus que des nœuds et des boucles des fils d'éther.* » [1]. Or, s'il est permis aux mathématiciens de l'Ecole de Boscovich d'admettre cette disparition, il ne l'est pas aux physiciens, lesquels dans les fils d'éther doivent voir toujours des grains de matière.

Si certains phénomènes électrostatiques, les décharges dans les gaz raréfiés, les phénomènes électro-optiques et l'électrolyse, ont aidé par des voies différentes à établir la théorie des électrons, il fallait chercher ailleurs pour en découvrir la forme cinétique ; il fallait avant tout construire le modèle mécanique du fonctionnement de l'éther dans la transmission des radiations, dont les équations de Maxwell, confirmées par les expériences de Hertz, ont montré la nature électromagnétique.

Théorie physique de l'unité de la matière. — On ne doit pas discuter sur la question de savoir si les particules intégrantes de la matière première ont des dimensions, une masse et de l'inertie, car le contraire est inconcevable et la physique ne peut pas s'occuper de l'inconcevable, sauf pour l'écarter. En considérant les électrons comme n'étant que des centres de mouvements, donc d'énergie, l'on a cru pouvoir éliminer la matière, mais on oubliait que le mouvement réel n'est concevable que s'il y a quelque chose qui tourne sur soi-même ou qui se déplace. Le mouvement d'un point sans dimensions, donc d'un rien, est une abstraction mathématique, et ne peut pas expliquer le monde que le physicien étudie, lequel est concret et tangible. Aussi je laisserai de côté les conceptions de cette nature et ne prendrai en examen que les réalités physiques dont les lois connues en établissent la manière d'être.

Quelques physiciens de l'Ecole de Riemann, croient nécessaire pour la réalisation de la loi de la conservation de l'énergie, que l'éther soit fini, et pensent que dans ce cas les vibrations de l'univers, lequel serait aussi limité, se réfléchiraient sur la surface libre de la masse éthérée pour revenir vers l'intérieur. Sans vouloir juger, ici, de la possibilité d'un fait semblable, je pense au contraire que la dissipation de l'énergie de chaque système solaire est nécessaire pour l'évolution de ces mêmes systèmes, car l'énergie ne fait en réalité, que s'éloigner d'un centre radiant pour aller se rassembler dans les espaces limitrophes entre les sphères d'action distribuées tangentiellement tout autour de la sphère d'action du système considéré. Dans ces espaces, par la suite interminable des siècles, les forces vives, dissipées par subdivision, mais non détruites, donneront lieu à des modifications dont le résultat sera la formation de nébuleuses et ensuite de nouveaux soleils qui remplaceront ceux qui avaient appartenu au cycle précédent.

On définit l'inertie comme étant la propriété essentielle d'une particule quelconque de matière, mais l'on ajoute à ce mot, le mot pondérable. Or, dans cette définition on ne doit rien ajouter. En effet, une particule matérielle, qu'elle gravite ou qu'elle ne gravite pas, ne peut exister qu'à la condition de posséder la propriété de l'inertie, autrement elle n'est plus de la matière, telle qu'elle se manifeste dans tous les phénomènes.

La loi fondamentale d'inertie peut être énoncée ainsi : « Un corps non vivant ne peut modifier de lui-même ni son état de repos, ni son état de mouvement. » C'est le principe

---

[1] Considérations sur les lois de la Physique, par J.-H. Poynting. *Archives des Sc. Phys. et Nat.*, Genève 1901, t. XI, p. 60.

Digitized by Google

qu'on croyait avoir été énoncé pour la première fois par Képler, mais qui l'a été un siècle avant par Léonard de Vinci.

Comme la manière d'être de la matière est le mouvement, on peut donner cette définition de la plus petite particule matérielle : « quelque chose d'impénétrable qui occupe un volume réel de l'espace et ne peut modifier de lui-même, ni la direction, ni la vitesse de son déplacement. » L'unité de la matière est ainsi physiquement démontrée par la considération que ses seules propriétés essentielles sont l'impénétrabilité et l'inertie.

En effet, prenons un corps quelconque, par exemple un fil d'acier : toutes ses qualités qui nous le font distinguer des autres corps similaires, ne sont point dues à sa matière en tant que matière spéciale ; ni ses différences de coloration à froid ou à chaud ; ni sa dureté, flexibilité, élasticité ; ni ses propriétés, sonores, électriques, magnétiques ; ni même ses affinités chimiques et son poids. Toutes ces modifications sont dues aux relations entre l'éther et la forme ou constitution architecturale typique de ses molécules, à leurs mouvements et dispositions variables avec la température, la tension, la pression, etc. Comme on peut dire la même chose de tous les corps simples ou composés, l'on peut conclure ainsi : « Ce qui différencie un corps élémentaire d'un autre, n'est pas sa matière spéciale, mais son architecture inter-atomique spéciale. »

Si l'on écrase un cristal de sel gemme, on observe le phénomène qui a comblé de stupeur l'abbé Haüy lorsqu'il le découvrit ; de quelle façon qu'on s'y prenne pour écraser très finement le cristal, toujours la loupe nous fait voir des petits cristaux identiques géométriquement avec le cristal qu'on a détruit. Or il n'y a pas une raison plausible pour que ce phénomène cesse de se produire à un moment donné à cause de la petitesse des particules ; il semble donc logique de penser que le plus petit cristal intégrant doit être l'atome, soit dans les corps composés, soit dans les corps simples ou élémentaires. On peut considérer les constitutions amorphes comme des irrégularités n'allant point jusqu'à l'atome. Mes expériences sur la cristallisation métallique par transport électrique dans l'eau distillée (1), m'ont aidé à me former une opinion sur ce sujet. Toutes les lois de la cristallographie me semblent permettre d'envisager l'atome pondérable ou chimique comme étant une agglomération spéciale de vortex, pour les positions desquels les théories cristallographiques de Bravais ou de Sohncke sembleraient applicables, mais avec quelques additions permettant d'introduire la force électronique, comme cause mécanique des alignements et de toutes les modifications de forme.

Sur l'origine et la différentiation des atomes, j'ajouterai seulement ici, que des changements doivent se produire dans les degrés de liberté des vortex, pendant la période de condensation des nébuleuses astrales, comme conséquence de contacts prolongés par des marches parallèles. De même une succession de chocs provenant tous de directions convergentes peuvent produire un état de contrainte dans des espaces limités, et donner naissance à des modifications stables, avec des formes, dont la variété peut augmenter par des combinaisons ultérieures. Ces modifications ont lieu par suite de pressions qui sont les résultantes d'un grand nombre de chocs simultanés se succédant avec une très grande rapidité.

Caractères mécaniques nécessaires a la constitution de l'état éthéré de la matière, et nature de l'électron. — La notion de masse s'identifie avec celle de matière, étant inséparable de cette dernière. La masse ne dépend pas de la gravitation universelle, c'est-à-

(1) Th. Tommasina. *C. R.*, t. CXXX, p. 325, du 5 février 1900. *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 272.

Digitized by Google

dire qu'elle n'en est pas une fonction, comme elle l'est pour le poids, qui est l'effet direct de la gravitation. Ce qui revient à dire, que sans gravitation il n'y aurait point de poids, mais il y aurait toujours les masses. L'élément de masse est indestructible.

Pour le physicien toute masse matérielle en mouvement est une force, elle est la seule manière d'être de la force ; en effet, pour arrêter une masse en mouvement, il faudrait exercer une réaction égale et contraire à la pression qu'elle produirait, pression dont la valeur est donnée par l'expression de Kirchhoff : $F = MA$, où F est la force, M la masse et A l'accélération. On appelle forces vives, les forces de ce type pour les distinguer des autres, qu'on qualifie avec des noms spéciaux selon leur manière de se présenter, mais en origine toutes les forces sont de ce type.

Si l'on pénètre la nature physique des phénomènes apparents, on ne trouve plus que des formes cinétiques, c'est-à-dire des masses matérielles en mouvement.

On confond souvent les forces fictives d'inertie, avec l'inertie elle-même ; or les forces d'inertie des corps pondérables sont dues précisément à leur pondérabilité, c'est-à-dire à leur poids, tandis que celles des particules matérielles impondérables de l'éther, qui se déplacent nécessairement dans le vide absolu, sont dues à leurs mouvements propres et constituent les *forces vives particulaires*, qui sont réelles, et dont l'importance est très grande comme je vais le démontrer.

De toutes les forces de la nature, la constante de gravitation seule semble se manifester comme la réalisation d'une transmission à vitesse infinie. Aussi depuis Newton la science s'est bornée à reconnaître que les choses se passent comme si tous les corps s'attiraient proportionnellement à leurs masses et en raison inverse du carré des distances, mais sans en attribuer la cause à une propriété spéciale d'attraction, que déjà, Descartes, Huyghens et Newton même, considéraient comme inadmissible.

En effet, cette propriété des corps ne pourrait pas être inhérente à leur matière, dont l'une des propriétés essentielles est l'inertie. Ces deux propriété opposées sont absolument incompatibles en tant qu'inhérentes à la même unité de masse de matière. En outre les forces attractives si elles existaient comme entités physiques spéciales, devraient se propager sans intermédiaire matériel au travers du vide absolu ; elles seraient donc, pendant leur trajet, de l'énergie libre, mais une énergie libre est une abstraction mathématique et non une réalité physique. On doit en tirer la réciproque, également exacte, du principe déjà énoncé plus haut, et affirmer que : « Toute force, ou toute énergie, est toujours constituée physiquement par une ou plusieurs masses matérielles en mouvement », et cette loi que j'appellerai *la loi de la persistance des mouvements* n'admet point d'exceptions, et la loi de la gravitation universelle doit y être soumise.

Ce n'est donc que dans les déplacements de la matière que l'on peut étudier les transformations de l'énergie. C'est dans les mouvements primaires de la matière qu'il faut rechercher l'origine des forces apparentes attractives et répulsives, aussi bien électromagnétiques que newtoniennes. Aussi les forces physiques qui sont les causes des mouvements secondaires sont à leur tour les effets des mouvements primaires. Comme il n'y a aucune raison logique, ni aucun fait, qui nous oblige à limiter cette loi générale de l'enchaînement des causes et des effets à une partie plutôt qu'à une autre de l'univers, l'on peut admettre que le mouvement doit avoir commencé à exister en même temps que la nature.

D'ailleurs la physique étant une science expérimentale est forcée de prendre comme point de départ deux modes de mouvements primaires, sans prétendre en chercher l'origine, ce qui appartient à la métaphysique ; ces deux modes de mouvement sont : la rotation

Digitized by Google

des grandes masses radiantes, centres de systèmes planétaires, telles que notre soleil, et la rotation des particules constituantes des vortex, forces vives particulaires. On ne peut avoir aucun doute sur leur nature primordiale et universelle ; aussi faut-il les considérer comme les seules causes mécaniques de tous les phénomènes, les envisageant comme les modificatrices du phénomène radiant.

Plusieurs faits, qu'il est inutile de citer ici, mais principalement ceux qui constituent l'optique de la lumière, de la chaleur radiante et des ondes hertziennes, démontrent l'existence d'un fluide spécial éthéré, ou, pour parler avec plus d'exactitude, l'existence d'un état spécial de la matière qui remplit l'espace illimité dans lequel tout ce qui existe évolue. Ce qui n'indique pas que l'éther est de la matière continue, conception absurde, mais que la matière dans cet état spécial est répandue dans tout l'univers et en forme pour ainsi dire l'élément ambiant.

Les lois connues de fonctionnement de cet élément transmetteur de l'énergie radiante, sont précisément celles de nos connaissances qui nous permettent de pénétrer jusqu'à certaines limites la constitution intime de l'éther.

La théorie ondulatoire de la lumière est basée, comme l'on sait, sur l'hypothèse des vibrations transversales, c'est-à-dire que chaque molécule de l'éther peut osciller suivant des trajectoires circulaires, elliptiques, ou rectilignes, quelconques, mais toujours situées sur des plans normaux à la direction du rayon. Je sais que ce n'est pas ainsi qu'on décrit ce phénomène, on ne considère ordinairement qu'une masse, vibrant dans son ensemble, quelle que soit sa nature, dans un tube ou faisceau de rayons provenant d'une source unique très éloignée ; mais, pour pénétrer la manière d'être de l'éther et pour élucider le mécanisme des radiations, il faut l'envisager entre les limites des sphères d'action de plusieurs masses radiantes, au milieu de l'espace sidéral. Dans ce cas au lieu d'une seule série de plans normaux correspondant aux surfaces d'onde, concentriques, il y aura autant de séries qu'il y a de sources radiantes, elles s'entrecroiseront dans tous les sens. C'est cet état que j'ai pris en considération comme étant celui de la matière éthérée. Nous savons que l'élasticité de ce milieu doit être parfaite, mais la science ne connaît pas encore la nature réelle de l'élasticité. Pourtant il m'a semblé que l'on pouvait concevoir cette propriété du milieu éthéré, comme due au mode de mouvement, déjà mentionné, des particules pulvisculaires qui constituent la molécule tourbillon, ou vortex, de l'éther. Les vortex, de même que leurs particules, se déplacent dans le vide absolu, et agissant les uns sur les autres, par contact, peuvent transmettre toutes sortes de mouvements. Le tourbillon particulaire fournissant l'élasticité parfaite nécessaire au fonctionnement des vortex, donne, en même temps, à l'éther un état de contrainte dans toute sa masse. En outre la rotation particulaire étant l'un des deux modes de mouvement primaires, l'état de contrainte de l'éther est primordial et invariable dans son ensemble, ainsi que la densité et l'élasticité de l'éther même, considéré dans l'espace sidéral à l'état de pureté absolue.

C'est dans la somme invariable des forces vives particulaires que consiste la partie constante de l'énergie, partie qui joue un rôle autant dans le phénomène radiant électromagnétique, que dans celui de la gravitation universelle. En dernière analyse, l'on peut établir que même l'énergie radiante, qui est la partie relativement variable de l'énergie totale, provient également de ces *mouvements tourbillonnaires intimes*, comme les appelle M. H. Poincaré [1], qui se trouvent condensés dans les énormes masses radiantes.

Comme le phénomène radiant est primaire et coexiste avec tous les autres phénomènes,

---

[1] H. Poincaré, Électricité et Optique. Paris 1901, p. 381.

Digitized by Google

il ne faut pas en oublier la présence; aussi les théoriciens qui, traitant des vitesses des ondulations, déclarent que le milieu devant le front d'ébranlement se trouve en repos, établissent comme base un fait qui n'est pas réel, car ce repos n'est que relatif à l'ébranlement considéré, et le milieu étant toujours et partout parcouru par des ébranlements multiples dans toutes les directions, il ne se trouve jamais dans la condition requise.

L'hypothèse de l'existence des vibrations éthérées avant tous les phénomènes est très importante, car elle suffit pour établir qu'une source radiante ne donne pas naissance aux vibrations, mais produit simplement un accroissement de l'intensité du phénomène suivant la nouvelle orientation, dont les ondulations viennent à prédominer sur toutes les autres qui remplissent toujours le milieu. Ainsi, par exemple, comme tous les corps ont une certaine température, car l'équilibre parfait n'existe nulle part, il est évident que, lorsqu'on a chauffé un corps, on n'a fait qu'augmenter l'intensité du phénomène radiant imperceptible qui existait déjà autour du corps, et dans ce cas, sans en avoir modifié l'orientation.

L'éther étant constitué de vortex, pour que les vibrations se transmettent sans arrêt dans toutes les directions suivant les lois connues, il faut que chaque vortex puisse se déplacer en tous les sens dans une sphère d'action propre, la masse totale de l'éther restant immobile. Il faut, en outre, que sans sortir de sa sphère d'action, le vortex transmette par choc aux vortex contigus des poussées dans une direction quelconque et successivement dans toutes les directions. Pour cela, le diamètre des sphères d'action doit être égal à la distance qui sépare les centres des vortex contigus, supposés en repos, et à la moitié de la distance maxima à laquelle ils peuvent se déplacer pendant leur mouvement.

L'éther aura ainsi les propriétés cinétiques requises de rigidité, d'isotropie, de symétrie, d'homogénéité et d'élasticité parfaites.

L'on sait que la propagation de la lumière dans l'éther peut être ramenée au cas simple d'une vibration sinusoïdale, lorsqu'on considère le cas limite de l'oscillation rectiligne. Dans l'éther pur sidéral, l'oscillation doit être circulaire, mais ordinairement elle variera entre ces deux limites extrêmes, et sera elliptique; aussi la vibration dans le cas général ne pourra pas être ramenée à la forme sinusoïdale, mais à une forme hélicoïdale ou solénoïdale. Même dans la lumière à polarisation, dite rectiligne, je ne pense pas que la vibration trace sa trajectoire sur un même plan idéal, la forme sinusoïdale doit donc être considérée comme théorique, et l'hélicoïdale seule peut conduire à la connaissance du mécanisme réel des radiations. D'ailleurs, soit dans l'une, soit dans l'autre de ces formes élémentaires, les séries de plans normaux aux points synchrones donnent les mêmes types de surfaces d'onde, transversales et concentriques, surfaces qui sont, comme l'on sait, purement imaginaires. Ce qui montre que : « l'élément cinétique réel de radiation n'est pas un élément superficiel de la surface d'onde, mais un élément linéaire, abstraction faite de la dimension du vortex, de la vibration hélicoïdale. » Or, la vibration hélicoïdale n'est autre que le chemin parcouru dans sa propre sphère d'action par le vortex, chemin qui constitue ainsi la trajectoire de l'énergie radiante.

Maintenant, si au lieu de prendre comme élément un fragment infiniment petit de la trajectoire, l'on prend tout le chemin parcouru par un vortex entre les limites de sa propre sphère d'action, l'on obtient une forme cinétique solénoïdale, et c'est cette forme qui constitue l'élément électromagnétique de rayon, ou l'électron, lequel est donc la forme cinétique qui délimite chaque cellule de l'éther, dont le vortex est l'unité de masse matérielle active et constituante de l'électron, ainsi que de la cellule de l'éther. Ce qui est d'accord autant avec le concept de Maxwell, qu'avec l'atome-tension de Larmor, interprétés physiquement.

Digitized by Google

Théorie électronique des radiations. — D'après la forme théorique sinusoïdale de la trajectoire, dans un faisceau de rayons, l'énergie parcourrait donc des chemins ondulatoires; mais en réalité les vibrations, subissant la modification solénoïdale, forment les électrons, et ceux-ci donnent lieu aux phénomènes, de l'étude desquels Maxwell a tiré ses équations établissant la nature électromagnétique de la lumière et l'existence d'une pression exercée par là même. Cette pression, calculée en même temps par Bartoli, et ensuite par MM. Bolzmann, Galitzine et Ch. Ed. Guillaume, a été reconnue expérimentalement, comme l'on sait, par M. Pierre Lebedef et par d'autres physiciens. Récemment M. Pellat [1] en a refait le calcul et trouvé encore par une autre voie les mêmes résultats. Il est ainsi établi que la pression due à des radiations venant uniformément dans tous les sens est égale à 1/3 de l'énergie totale. Je suis arrivé aux mêmes résultats en les déduisant directement de ma théorie, comme l'on verra dans la suite. Je me borne ici, à faire remarquer que la constatation de l'existence de cette pression, du même ordre de grandeur que celle de la constante newtonienne, est la base de ma théorie, car elle permet d'expliquer la transmission des radiations dès l'origine et sans faire intervenir aucune action à distance. En outre, cette pression longitudinale, établie sur les faits, met davantage en évidence l'état de contrainte du milieu éthéré.

La pression de radiation nous fait reconnaître dans les masses des corps radiants des mouvements de nature pulsatoire extrêmement rapides produisant des poussées périodiques dans la direction des rayons. Ce sont ces poussées qui modifient l'orientation des solénoïdes de vortex, créant ainsi de nouveaux alignements qui constituent une radiation, dont la formation élémentaire pourrait être résumée ainsi : « Les trajectoires des vortex qui se trouvent sur chaque surface équipotentielle, ou feuillet magnétique, sont. par ces pressions, déformées, et viennent à constituer, chacune, un solénoïde par les liaisons des feuillets magnétiques qui se trouvent compris dans la sphère d'action d'un vortex, engendrant ainsi un électron. » La même modification se produisant entre les électrons d'une couche et ceux de la couche suivante, et ainsi de suite, un faisceau dé rayons vient à être formé par un faisceau de solénoïdes tous parallèles dans le sens longitudinal ou de propagation de la radiation.

On peut donner ainsi de la radiation la définition mécanique suivante : « La radiation est la résultante dirigée d'une modification élastique du milieu éthéré. » Cette résultante est nécessairement une grandeur polaire, car la modification, bien que formée par des oscillations transversales et longitudinales, ne se propage que dans une direction unique, qui est de forme solénoïdale, plus ou moins aplatie, suivant la nature du milieu traversé par les rayons.

Etant donnée l'architecture spéciale de chaque atome chimique élémentaire, constitué, comme il a été dit déjà dans le précédent chapitre, par un certain nombre de vortex retenus ensemble par des liaisions élastiques dues aux mouvements synchrones, étant donnée aussi la constitution cristallographique ou amorphe des corps, dans leurs différents états physiques, sur lesquels les radiations agissent, l'on comprend facilement que ces dernières doivent produire des phénomènes très variés selon la gamme, anti, infra, ou ultra spectrale à laquelle elles appartiennent; j'appelle spectrale la gamme visible. On voit que ces variétés ne sont réellement que des accentuations qui ne se différentient entre elles que par les ordres de grandeur des vitesses et des déplacements libres.

L'électron étant un élément électromagnétique on peut en déduire que son axe est une

---

[1] H. Pellat. *Journal de Physique*, 4e série, t. II, 1903, p. 484-490. *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 301, 22 août 1903.

Digitized by Google

ligne de force magnétique, et en supposant un alignement seul d'électrons isolé dans une radiation, l'on aurait la forme cinétique d'un élément d'aimant dont l'un des pôles serait à une distance infinie, les lignes de force magnétiques sont donc rectilignes dans toutes les radiations. Quant aux lignes de force électriques, elles irradient de l'électron normalement à sa ligne axiale magnétique, elles doivent se produire dans un faisceau de rayons dans les directions suivant lesquelles se transmettent les pressions latérales, ou transversales, entre les électrons contigus.

Comme l'énergie dans le parcours de chaque spire est inversement proportionnelle au nombre des spires de l'électron, la pression latérale totale entre les électrons doit être la même dans tous les types de radiation et ne varier qu'avec l'intensité de l'énergie radiante.

La force vive de l'électron donne trois composantes dirigées parallèlement aux trois axes d'un ellipsoïde dont la forme dépend de la nature du milieu traversé. Dans le milieu éthéré sidéral cet ellipsoïde serait une sphère, ainsi dans ce cas les trois composantes étant égales entre elles, la force Maxwell-Bartoli correspond à 1/3 de l'énergie radiante totale par unité de volume du milieu considéré, tandis que les autres 2/3 se diffusent latéralement suivant les lignes de force électriques et constituent la partie variable de la tension éthérée, qui joue un rôle aussi dans le phénomène de la gravitation, même un rôle très important, car il met en évidence la relativité de la constante newtonienne.

L'on sait que, d'après les calculs de Maxwell et les résultats de ses expériences et de celles de MM. Weber et Kohlrausch, de lord Kelvin et de MM. Stoletow et Hurmuzescu, le rapport de l'unité électromagnétique à l'unité électrostatique est un chiffre identique à celui qui représente la vitesse de la lumière. Or dans l'électron cette vitesse est égale à sa composante longitudinale, donc l'unité électrostatique doit être représentée par les deux composantes transversales de l'électron, ce qui laisse entrevoir en ce dernier le vrai élément cinétique de la charge électrostatique. Il est donc permis de supposer que les charges sont constituées par plusieurs couches d'électrons, formées par des séries d'alignements parallèles à la surface du corps électrisé. Chaque alignement étant fermé sur lui-même, l'action magnétique est nulle si la charge ne se déplace pas, et les pressions latérales des électrons donnent naissance aux lignes de force du champ électrostatique. Une disposition analogue peut exister dans les courants où les alignements d'électrons seraient normaux à la direction de propagation de l'électricité.

Je pense que ces simples indications sommaires sont suffisantes pour démontrer qu'il était logique de chercher dans les radiations la forme cinétique réelle de l'électron. Cette forme, qui n'est pas arbitraire, permettant d'expliquer les charges statiques et les courants par des alignements fermés d'électrons, et les radiations par des alignements ouverts et rectilignes, conduit à envisager la nature ou le mécanisme de la transformation du flux électrique en radiations, la modification des radiations par un champ magnétique, la nature réelle de l'influence électrostatique et magnétique, de l'induction électrodynamique et électromagnétique, ainsi que la relation étroite qui existe entre la polarisation électrique, l'électrolyse et la ionisation. Ces divers sujets seront largement développés dans un prochain travail.

Théorie électronique de la gravitation. — L'on peut définir l'impondérabilité comme étant le fait d'une substance matérielle qui ne gravite dans aucune direction, et il faut ajouter que pour que ce fait soit possible il suffit que cette substance se trouve délimitée par le vide absolu, ou qu'elle n'ait point de limites dans l'univers. Dans l'une ou dans l'autre de ces conditions un corps quelconque serait impondérable, donc une substance

Digitized by Google

matérielle illimitée est nécessairement impondérable et un corps limité ne peut l'être que s'il se trouve dans le vide absolu. Il est permis d'en tirer les réciproques suivantes :

1° Les corps pondérables sont tous limités.

2° Les corps ne peuvent être pondérables qu'à condition qu'il existe une substance matérielle qui constitue le milieu dans lequel ils sont immergés.

La pondérabilité des corps n'est donc pas une propriété qui leur soit inhérente, mais elle est une fonction de l'activité de l'élément ambiant, et cet élément est nécessairement impondérable, étant illimité comme l'univers, et unique par la même raison. C'est l'action ou pression de cet élément sur tous les atomes, ainsi que sur tous les corps, qui est la cause réelle de la gravitation, ce qui explique pourquoi l'éther étant lui-même le moteur, ne présente aucune résistance à leurs déplacements. En outre cette fonction spéciale de l'éther montre que l'existence d'une autre substance impondérable est absolument inadmissible.

C'est en appliquant ces notions à l'étude des propriétés connues de l'électricité, que l'on parvient à établir la nature électrostatique de l'une des deux fonctions fondamentales dont doit être composée l'expression analytique de la force de gravitation, l'autre étant le coefficient de l'élasticité spécifique de l'éther.

Nier l'existence de l'éther signifie donc nier celle de l'électricité. Aussi tous les corps à l'état normal ou neutre contiennent de l'éther-électricité ou des électrons, répandus également, comme disait Franklin, et en équilibre. Comme l'électrisation n'est qu'une rupture de cet équilibre, les corps électrisés peuvent se déplacer par le seul effet de leur état électrique en sens contraire de la direction de gravitation. La tension électrique n'est qu'un état d'équilibre instable de la tension de l'éther dans les diélectriques. Cette tension étant ainsi associée aux vibrations radiantes devient une notion physique, car l'on n'a plus besoin de symboles et l'on peut lui appliquer les principes de la mécanique la rattachant aux lois cinétiques générales du mouvement de la matière.

La constante théorique sidérale absolue de gravitation serait la constante due à la seule pression élastique de l'éther qui a son siège dans les forces vives particulaires de ses molécules vortex. Cette pression ou tension homogène de la masse immobile de l'éther, donne lieu à la force répulsive apparente de ses molécules entre elles, et à la force attractive apparente entre les mêmes et les atomes chimiques, et de ces derniers entre eux. Aussi, comme l'on sait, la droite qui joint les centres de gravité de deux corps est celle suivant laquelle s'exerce la force apparente d'attraction. Or, la moitié de la force répulsive apparente qui s'exerce entre deux vortex contigus donc à l'unité de distance qui est précisément celle qui sépare leurs centres, serait l'unité absolue de la constante sidérale de gravitation, laquelle donnerait la valeur exacte du coefficient d'élasticité de la masse éthérée et serait représentée par l'expression $1/2\, m v^2$, m étant la masse du vortex et v la vitesse de déplacement tourbillonnaire de ses particules constituantes.

Mais cette constante théorique n'est en aucun cas la constante réelle, dans la valeur de laquelle entre nécessairement, comme je l'ai déjà dit, une constante relative qui est la constante électrostatique de chaque planète, dépendante de l'intensité de l'énergie radiante de la masse solaire, du système auquel la planète appartient, et de la distance variable de cette dernière.

Dans notre cas à cause de la faible excentricité de l'orbite terrestre, pratiquement, la force gravitante, comme l'appelait Newton, peut être considérée comme une constante absolue, ainsi que le potentiel électrostatique de la terre.

Un tube ou faisceau de rayons, s'il est très court par rapport à la distance qui le sépare de la source radiante, peut être considéré comme cylindrique, mais on ne doit pas oublier

Digitized by Google

qu'en réalité il est toujours conique. En effet, depuis la source, les surfaces équipotentielles des sphères constituées par l'ensemble des feuillets magnétiques électroniques vont en croissant proportionnellement au carré de leur rayon, c'est-à-dire de la distance qui les sépare du centre du corps radiant.

Or, proportionnellement à l'accroissement des surfaces d'onde augmente le nombre des feuillets magnétiques élémentaires qui les composent, il y a donc en réalité une subdivision successive et continuelle de l'énergie radiante, en rapport avec le nombre de plus en plus grand des masses élémentaires ou vortex qui doivent être maintenues en vibration.

Cette considération est suffisante pour pouvoir conclure que l'énergie radiante solaire, comme la constante newtonienne, agit en raison inverse du carré des distances. Comme cette énergie radiante solaire est dirigée en sens opposé de la force de gravitation, si elle décroit dans le même rapport il faut qu'il existe une relation simple entre les deux.

D'autre part j'ai déjà déduit, d'après la forme hélicoïdale de la trajectoire de l'énergie, que la pression de radiation doit être égale à 1/3 de l'énergie totale, les autres 2/3 constituant les composantes transversales de l'énergie radiante. Or, comme d'après cette théorie un même volume d'éther contient un même nombre de vortex, ceci étant imposé par les lois de l'optique, en s'approchant du soleil la vitesse de déplacement et ainsi l'énergie des chocs doit croître inversement au carré de la distance de cet astre et la tension électrostatique de l'éther qui représente les 2/3 de l'énergie totale croîtra suivant la même loi. Aussi la constante électrostatique solaire doit être énorme, et celle de chaque planète n'est pas une constante absolue, car elle doit varier continuellement oscillant entre deux limites demi-annuelles correspondant aux instants pendant lesquels la planète passe à l'aphélie et au périhélie de son orbite elliptique ; c'est ce qui fait varier dans les deux sens la vitesse de circonvolution.

Je ne crois pas qu'il soit nécessaire d'insister davantage sur ce sujet ; l'énumération de tous les faits, qui montrent que celle que je viens de décrire est la seule cause mécanique possible de la gravitation universelle, serait trop longue ; d'ailleurs je n'ai trouvé aucun fait nettement établi qui lui soit contraire. M. Lorentz dans son rapport au Congrès de Paris en 1900 : « Sur la théorie des phénomènes magnéto-optiques » dit : « *On se rapproche des idées de M. Becquerel* (1) *qui regarde le phénomene de Zeemann, comme la conséquence de certains mouvements tourbillonnaires de l'éther* » et M. Lorentz ajoute : « *Peut-être une théorie de cette nature finira-t-elle par remplacer toutes les autres* (2) » M. Poynting, dans la même conférence que j'ai déjà citée, va encore plus loin, car il disait : « *Je suppose que nous avons tous l'espoir que nous réussirons un jour à attribuer à l'éther de nouvelles qualités de nature à le rendre capable d'élargir son rôle et de se charger du travail de la gravitation* (3). »

C'est par l'élimination des notions inconcevables, que l'on croit utile de conserver encore pour l'explication des mêmes phénomènes, qu'il m'a été possible d'établir la corrélation absolue de toutes les forces physiques par une théorie purement cinétique.

Ce court résumé n'a d'autre but, comme je l'ai dit au commencement de la première partie, que celui de faire naître une large discussion, qui réussira certainement à donner une forme plus parfaite à ce que je n'ai fait qu'ébaucher.

Thomas TOMMASINA.

(1) BECQUEREL, *C. R.*, t. CXXV, p. 679, 1897.

(2) Rapports au Congrès international de Physique de Paris en 1900. t. III, p. 15.

(3) *Loco citato*, p. 59-60.

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

L'élément primaire de H. Csanyi et G. von Barczay, par **Franz Peters**. *Centralblatt f. Accumulatoren, Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 225, 1er octobre 1903.

Depuis quelques temps, on fait assez grand bruit dans la presse hongroise autour d'une pile imaginée par Csanyi et von Barczay. Cette pile dérive de la pile Bunsen.

On sait qu'on a déjà proposé d'employer comme liquide excitateur, dans la pile Bunsen, un sel de mercure. Les auteurs sont parvenus à rendre une telle pile beaucoup plus active en additionnant la solution excitatrice de sel de mercure, de cyanure de potassium et d'alcool.

Pour vérifier cette affirmation des inventeurs, les expériences suivantes ont été faites sur différents éléments. Tous ces éléments comprenaient des vases en grès vernissé qui étaient partagés transversalement en 6 compartiments à l'aide de diaphragmes avec joints étanches. On obtenait ces diaphragmes en soumettant à la cuisson un mélange d'argile et de particules de charbon. Dans l'un des compartiments extrêmes, on plaçait une plaque de charbon de 24 cm de hauteur, 7 cm de largeur et 1 cm d'épaisseur. Dans le compartiment voisin était introduite une lame de zinc de mêmes dimensions, mais d'épaisseur de 2 mm. Celle-ci était reliée à une deuxième plaque de charbon placée dans le troisième compartiment. Dans les deux compartiments suivants, on disposait une semblable paire d'électrodes zinc-charbon, et enfin la dernière chambre renfermait une plaque de charbon. Les compartiments positifs (électrodes de charbon) étaient remplis d'acide nitrique de concentration 40° B., dans certaines expériences et 30° B., dans les autres. Dans les compartiments négatifs on versait des solutions différentes : dans les éléments A le liquide excitateur comprenait une solution renfermant, pour 1 litre d'eau, 240 gr de nitrate de mercure et 200 gr d'acide nitrique de densité 1,18 ; dans les éléments B le liquide excitateur renfermait outre le sel de mercure, du cyanure de potassium et de l'alcool.

Avec l'acide à 40° B. comme dépolarisant, les éléments A comme les éléments B présentaient, après quelques minutes, une force électromotrice de 5,2 volts. En fermant les circuits sur une résistance de 0,01 ohm, on obtenait les résultats suivants :

ÉLÉMENT A

	Diff. de Pot.	Intensité.
Après fermeture	0,20 volt	8,2 amp.
4 minutes après	0,14 »	7,4 »
Après 6 minutes d'interruption.		
10 minutes après (décharge)	0,146 »	7,0 »
15 minutes après (décharge)	0,142 »	6,8 »

ÉLÉMENT B

	Diff. de Pot.	Intensité.
Après fermeture	0,62 volt	22,0 amp.
4 minutes après	0,81 »	24,2 »
Après 6 minutes d'interruption.		
10 minutes après (décharge)	0,742 »	25,8 »
15 minutes après (décharge)	0,780 »	27,8 »

En déchargeant les mêmes éléments à 4 ampères, on constatait qu'après 15 minutes, les éléments A donnaient une différence de potentiel de 2,82 volts avec une intensité qui était descendue à 3,6 ampères, tandis que l'intensité était restée constante pour les éléments B dont la tension atteignait 3,97 volts.

Avec l'acide nitrique à 30° B. comme dépolarisant, la force électromotrice avait pour valeur 4,8 volts pour les éléments A et 5,08 pour les éléments B.

La décharge sur une résistance extérieure de 0,1 ohm donnait :

ÉLÉMENTS A

	Diff. de Pot.	Intensité.
Après fermeture	0,888 volt	8,00 amp.
Après 5 minutes	0,720 »	6,48 »
» 10 »	0,640 »	5,82 »
» 15 »	0,605 »	5,58 »
» 20 »	0,582 »	5,38 »
» 25 »	0,562 »	5,20 »
» 30 »	0,550 »	5,05 »

ÉLÉMENTS B

	Diff. de Pot.	Intensité.
Après fermeture	1,360 volt	12,60 amp.
Après 5 minutes	1,400 »	13,00 »
» 10 »	1,426 »	13,22 »
» 15 »	1,448 »	13,42 »
» 20 »	1,460 »	13,53 »
» 25 »	1,450 »	13,42 »
» 30 »	1,425 »	13,20 »

Digitized by Google

Ces expériences montrent nettement l'avantage de l'addition de cyanure de potassium et d'alcool au sel de mercure employé comme excitateur.

Si on prend comme électrode négative du zinc non amalgamé, celui-ci s'attaque bientôt très fortement et très irrégulièrement dans l'élément au sel de mercure pur. Au contraire, dans l'élément Csanyi-Barczay, l'attaque est beaucoup plus lente et régulière, car le zinc s'amalgame très bien dans un temps très court. Dans les premiers éléments, après un long travail, le zinc se couvre de croûtes blanches épaisses, alors qu'on ne remarque rien de semblable dans les seconds. Ces croûtes augmentent considérablement la résistance intérieure. L. J.

DIVERS

Décharge des condensateurs dans un circuit bifurqué et propriétés de quelques diélectriques liquides aux fréquences de 10^7 à 10^8, par **E. Marx**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 491-535, octobre 1903.

Le circuit de décharge se divise en un point en deux branches, dont les résistances sont respectivement R_1 et R_2, les self-inductions L_1 et L_2.

Si le courant est sinusoïdal de période T, les intensités efficaces dans les deux branches seront égales quand :

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{R_2^2 - R_1^2}{L_1^2 - L_2^2}} \qquad (2)$$

Si l'une des résistances est formée par un électrolyte, cette résistance est indépendante de la période, et sa self-induction est négligeable. Si l'autre est formée par une bobine métallique, la self-induction varie peu avec la période, mais la résistance apparente se modifie (Stefan et Rayleigh). En réglant la résistance électrolytique, on peut réaliser l'égalité d'intensité dans les deux branches.

L'équation (1) suppose que la longueur d'onde est grande vis-à-vis des longueurs de fil considérées, et que le procédé de mesure des intensités est indépendant de la phase.

Il est indispensable d'éliminer les oscillations à longue période de la bobine d'induction, sans quoi on ne trouve pas de variation régulière de la résistance équivalente avec la période. On arrive à ce résultat en intercalant sur les fils adducteurs un condensateur de faible capacité.

Le circuit comprendra les deux résistances disposées en dérivation et séparées l'une de l'autre par un condensateur C″, et deux éléments thermoélectriques placés en série l'un avec l'autre, mais l'un sur la branche contenant la résistance électrolytique, l'autre sur la branche renfermant la self-induction.

Les deux éléments thermoélectriques sont réunis en opposition aux deux enroulements d'un galvanomètre différentiel : des commutateurs permettent d'échanger les éléments et les enroulements du galvanomètre.

La résistance électrolytique est constituée par une dissolution de cyanure double de potassium et d'argent. Cette dissolution est renfermée dans un tube en verre et on fait varier la résistance en enfonçant plus ou moins dans ce tube un piston de verre qui est d'un diamètre un peu plus petit.

Le condensateur *c″*, en papier paraffiné et étain peut être mis à volonté en série avec la résistance électrolytique ou la self-induction. Il a pour but de soustraire le galvanomètre à l'action des différences de potentiel accidentelles qui peuvent se produire, surtout entre les électrodes de la résistance liquide.

On obtient les oscillations à l'aide d'un excitateur rectangulaire ; on fait varier la période en changeant la longueur du rectangle. Sur le côté du rectangle opposé à l'étincelle est inséré un condensateur.

Ce condensateur est d'abord un condensateur à lame d'air : on règle la résistance sur la dérivation de façon à amener le galvanomètre différentiel au zéro.

On remplace ensuite ce condensateur par un autre dont on peut faire varier l'écartement des armatures et qui renferme le liquide qu'on veut étudier.

On règle la distance des armatures de manière que la valeur de la résistance qui amène le galvanomètre au zéro soit la même que dans le premier cas.

On calcule la capacité du condensateur étalon par la formule de Kirchhoff, après avoir vérifié par des mesures spéciales qu'elle est applicable dans les conditions où on opère.

L'une des précautions essentielles à prendre, c'est que l'amortissement des oscillations et l'in-

Digitized by Google

tensité du rayonnement du circuit primaire soient aussi faibles et aussi constants que possible.

L'amortissement a pour effet de rendre la longueur d'onde mesurée trop grande : il n'est pas possible de déterminer exactement la grandeur de la correction. Mais la méthode de substitution fait disparaître cette difficulté.

Le benzol et l'eau ne présentent aucune dispersion pour les longueurs d'onde comprises entre 10 et 34 cm. M. L.

***Région cathodique obscure*, par G.-C. Schmidt.** *Drude's Annalen*, t. XII, p. 622-653, octobre 1903.

La région cathodique obscure représente un espace où il se produit une raréfaction des ions. Ce phénomène rappelle jusqu'à un certain point les variations de concentration qui se produisent pendant l'électrolyse au voisinage des électrodes.

On met en évidence cette raréfaction en mesurant le temps nécessaire pour charger un condensateur relié à une sonde qu'on amène successivement dans les diverses régions de la décharge.

Le tube employé à ces expériences est celui qui a servi à Wehnelt (*L'Éclairage Électrique*,

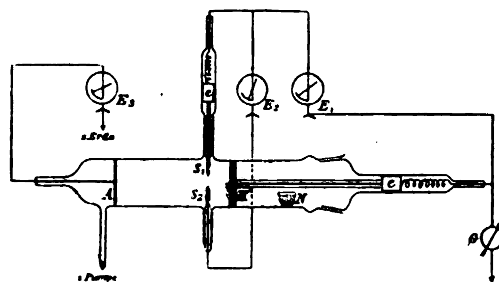


Fig. 1.

t. XXXV, p. 145, avril 1903) (fig. 1). La cathode est mobile et peut être amenée à différentes distances des sondes s_1 s_2. On mesure d'abord la différence de potentiel entre la sonde et la cathode reliée au sol ; puis on met la sonde en communication avec la capacité.

Lorsque la sonde se trouve dans la région obscure, il faut un temps extrêmement long pour que le condensateur se charge : cette région renferme donc peu d'ions.

Plus la sonde s'approche des lueurs négatives ou des rayons cathodiques, plus l'ionisation est grande.

D'après ce qui précède, il doit être possible de faire disparaître la région obscure et la chute brusque de potentiel qui s'y produit, si on crée dans cette région des ions positifs en nombre suffisant. On obtiendra ces ions en faisant arriver dans l'espace considéré des rayons cathodiques, des rayons-canal ou des rayons de Rœntgen.

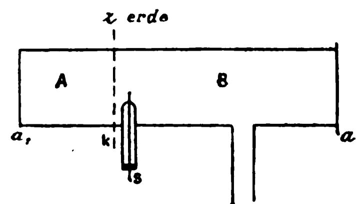


Fig. 2.

Trois tubes ont servi à vérifier cette hypothèse (fig. 2, 3, 4).

Le tube I est formé de deux parties A et B, mastiquées l'un sur l'autre et séparées par une toile métallique k, qui est en communication électrique avec le sol.

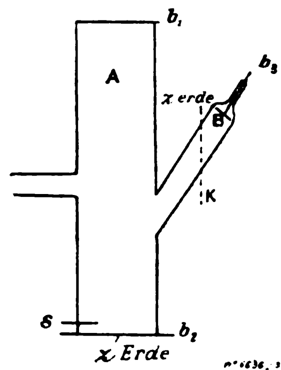


Fig. 3.

Les électrodes a_1 et a_2 sont en zinc. Si a_1 est la cathode, des rayons cathodiques pénètrent en B, quand la pression a une valeur convenable ; si a_1 est l'anode, des rayons-canal se dirigent vers B. Par conséquent, suivant qu'on prend a_2 pour anode ou cathode, les rayons-canal ou les rayons cathodiques pénètrent dans la région obscure qui se forme en B autour de la toile métallique ou bien dans la colonne de lumière positive.

Le tube II a des électrodes en fer, le tube III des électrodes en aluminium, s est une sonde enveloppée d'un tube de verre jusqu'au voisinage

Digitized by Google

de son extrémité. Les expériences sont effectuées dans l'azote, dans l'hydrogène et dans l'oxygène.

Supposons que dans le tube I, A soit relié à la batterie de façon que a_1 soit cathode et B à la machine à influence, de manière que a_2 soit anode ; les autres pôles sont en communication avec le sol. Il se forme en B une région obscure autour de K. Quand l'intensité du courant en A est faible et la pression élevée, les rayons cathodiques émis par a_1 ioniseront peu le gaz de la région obscure en B ; la raréfaction des ions subsiste. A mesure qu'on augmente l'intensité du courant en A et par suite celle des rayons cathodiques, l'ionisation augmente.

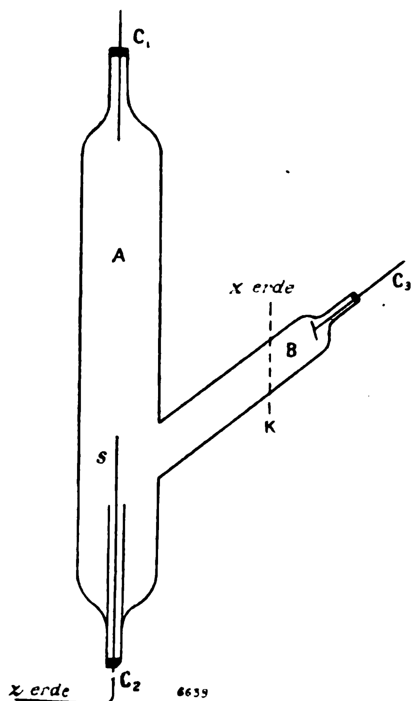


Fig. 4.

La région obscure devient de moins en moins nette jusqu'à ce qu'elle disparaisse : il ne reste plus en B que la lumière ou des stratifications positives.

Aucun courant ne passe plus dans le sol par l'intermédiaire de la toile métallique. Le même phénomène se produit quand on renverse le sens du courant en A : ce sont alors les rayons-canal qui provoquent l'ionisation. En même temps que disparaît la région obscure, le potentiel de la cathode diminue.

Dans les tubes II et III (fig. 3 et 4), les phénomènes se passent d'une manière analogue.

Si b_3 ou C_3 sont cathodes, la décharge en B garde la même forme, que le courant passe ou ne passe pas en A. Si b_1 ou C_1 forment anode. tout le courant va dans le sol par b_2 ou C_2, quand il n'y a pas de courant en B. Dès que les rayons cathodiques ou les rayons-canal sont lancés en A à travers la toile métallique, la région obscure en b_2 ou C_2 devient moins nette et enfin, si l'intensité de ces rayons est très grande, la décharge suit le chemin le plus long, par la toile métallique K.

L'influence de la nature de l'électrode sur la chute de potentiel dans la région obscure a été étudiée par Mey [1].

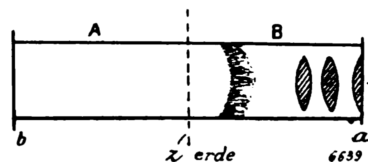


Fig. 5.

L'action des rayons cathodiques est plus énergique que celle des rayons-canal, c'est-à-dire qu'ils abaissent davantage le potentiel de décharge.

On peut s'expliquer cette différence comme il suit :

Soit un tube AB (fig. 5) portant deux électrodes terminales a et b et séparé en deux moitiés par un écran de toile métallique relié au sol. Si le courant passe en B, les ions positifs se dirigent de l'anode a vers la cathode (toile métallique) et les ions négatifs en sens contraire. Si b devient cathode, les rayons cathodiques pénètrent en B : supposons qu'ils parviennent jusqu'au milieu de ce tube. Les ions positifs n'ont plus alors à parcourir que le trajet de a jusqu'au milieu de B, où ils se réuniront aux ions négatifs, si ceux-ci sont en nombre suffisant.

Si on règle la décharge de manière à réaliser cette condition, toute l'électricité passera directement de a vers b, sans que le sol en reçoive rien par la toile métallique.

Que des rayons-canal au contraire pénètrent en B, ils y apporteront un excès d'ions positifs

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. cxx, juin 1903.

Digitized by Google

et feront aussi disparaître la région obscure. Seulement il faut que ces ions positifs soient ramenés vers la toile métallique et que les ions positifs de l'anode *a* fassent le trajet jusqu'à la cathode. Le trajet que doivent parcourir ces ions est donc plus grand que dans le premier cas et il faut une force électromotrice plus grande pour entretenir la même intensité de courant.

Aux erreurs d'expérience près, le potentiel est le même dans tout l'espace situé derrière l'écran de toile métallique, lorsque cet espace reçoit à travers l'écran des rayons-canal ou des rayons cathodiques.

Quand on fait croître la force électromotrice l'intensité du courant croît très rapidement d'abord, puis moins vite et finit par prendre une valeur à peu près constante, et si la force électromotrice croît encore, l'intensité augmente de nouveau.

La conductibilité transversale mesurée au moyen des sondes croît avec l'intensité du courant principal et avec la raréfaction du gaz.

L'action ionisante des rayons cathodiques est moins énergique que celle des rayons-canal.

On peut aussi diminuer la région obscure autour d'une cathode en forçant les rayons cathodiques émis par cette cathode à rebrousser chemin : on obtient ce résultat en les faisant se réfléchir sur une plaque de métal ou en les déviant par un aimant. L'effet est d'autant plus grand, que la région obscure est plus grande, c'est-à-dire que les ions sont plus raréfiés autour de la cathode.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 27 octobre 1903.

Changement de résistance électrique du sélénium sous l'influence de certaines substances, par **A.-B. Griffiths**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 647.

L'auteur a déterminé, par la méthode du pont de Wheatstone, la résistance électrique du sélénium et a reconnu que, s'il est exposé aux solutions alcooliques de quelques pigments de plantes et d'animaux, pendant 15 minutes à la distance de 5 cm, sa résistance électrique diminuait.

Les recherches ont donné les résultats suivants :

Pigments.	Résistance du sélénium avant l'exposition. ohms.	après l'exposition. ohms.
Verbena (pétales)	340 000	290 000
Helianthus (pétales)	420 000	415 000
Geranium (pétales)	462 000	320 000
Bacterium Allii (1)	390 000	370 000
Pélagéine (2)	350 000	330 000
Diémyctyline (3)	444 000	410 000
Amanitine (4)	380 000	360 000

Comme on sait que la lumière, les rayons du radium et les rayons de Rœntgen réduisent la résistance électrique du sélénium, il se pourrait que les pigments précédents émettent ces rayons (1).

M. T.-A. Edison a prouvé que la chlorophylle, la curcumine et la daturine produisent la phosphorescence.

(1) Griffiths, *Comptes rendus*, t. CX, p. 416.
(2) Griffiths et Platt, *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 451.
(3) Griffiths, *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 912.
(4) Griffiths. *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1362.

Séance du 2 novembre 1903.

Sur de nouvelles actions produites par les rayons n : généralisation des phénomènes précédemment observés, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t CXXXVII, p. 684-686.

Lorsque l'on dirige un faisceau de rayons *n*, soit sur une petite étincelle électrique, soit sur une petite flamme, soit sur une substance phosphorescente préalablement insolée, ou encore sur une lame de platine portée au rouge sombre, on voit la lumière émise par ces différentes sources augmenter d'éclat. Dans ces expériences, on opère sur des sources émettant spontanément de la lumière; M. Blondlot s'est demandé si l'on ne pourrait pas les généraliser en employant un corps n'émettant pas de lumière

(1) Voir E. van Aubel, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 929.

Digitized by Google

par lui-même, mais renvoyant celle qui lui vient d'une source extérieure.

En conséquence, M. Blondlot a fait l'expérience suivante : une bande de papier blanc, longue de 15 mm et large de 2 mm, est fixée verticalement à un support en fil de fer; l'obscurité étant faite dans la salle, on éclaire faiblement la bande de papier en projetant sur elle latéralement un faisceau de lumière émis par une petite flamme renfermée dans une boîte percée d'une fente verticale.

Les rayons *n* sont produits à l'aide du dispositif suivant : un bec Auer muni d'une cheminée en tôle dans laquelle a été pratiquée une ouverture rectangulaire de 60 mm de hauteur et de 25 mm de largeur, est enfermé dans une lanterne en tôle percée d'une fenêtre faisant face à l'ouverture de la cheminée, et obturée par une feuille d'aluminium. Devant cette fenêtre on place la petite bande de papier, éclairée comme il a été dit Si maintenant on intercepte les rayons en interposant une lame de plomb ou la main, on voit le petit rectangle de papier s'assombrir, et ses contours perdre leur netteté; l'éloignement de l'écran fait reparaître l'éclat et la netteté; la lumière diffusée par la bande de papier est donc accrue par l'action des rayons *n*.

Ces résultats suggérèrent à M. Blondlot l'idée suivante : la diffusion de la lumière est un phénomène complexe dans lequel le fait élémentaire est la réflexion régulière, et, par conséquent, il y a lieu de rechercher si la réflexion de la lumière ne serait pas modifiée par l'action des rayons *n*. A cet effet, une aiguille à tricoter en acier poli fut assujettie verticalement en place de la bande de papier de l'expérience précédente; d'autre part, dans une boîte complètement close, à l'exception d'une fente verticale pratiquée à la hauteur du bec Auer, et obturée par un papier transparent, une flamme était disposée de manière à éclairer la fente. En plaçant convenablement l'œil et la fente, on voit l'image de celle-ci formée par la réflexion sur le cylindre d'acier; la surface réfléchissante reçoit en même temps les rayons *n*. Il fut alors facile de constater que l'action de ces rayons renforce l'image, car si l'on vient à les intercepter, cette image s'assombrit et devient rougeâtre. Cette expérience a été répétée avec le même succès en employant, au lieu de l'aiguille à tricoter, un miroir plan en bronze.

On obtient encore le même résultat en faisant réfléchir la lumière sur une face polie taillée dans un bloc de quartz; toutefois, quand les rayons *n* tombent normalement sur la face réfringente, leur action sur la lumière réfléchie disparaît, quelle que soit l'incidence de celle-ci, soit que cette action devienne nulle, soit qu'elle devienne seulement inappréciable. Pour que la lumière réfléchie par le quartz soit renforcée par les rayons *n*, il n'est pas nécessaire que ceux-ci soient dirigés de l'extérieur vers l'intérieur du quartz : cette action a encore lieu lorsque les rayons *n* traversent la surface réfléchissante de dedans en dehors.

Toutes ces actions des rayons *n* sur la lumière exigent un temps appréciable pour se produire et pour disparaître [1].

M. Blondlot n'a pu, en variant l'expérience d'un grand nombre de manières, constater aucune action des rayons *n* sur la lumière réfractée.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 4 novembre 1903 [2]

Sur la traction électrique par le moteur-série à courant alternatif, par G. Finzi.

La communication faite par M. le Dr Finzi comporte deux parties bien distinctes :

1° La première consacrée à la discussion des caractères généraux des divers systèmes employés ou proposés pour la traction. L'auteur a développé tout particulièrement dans cette divi-

---

(1) Concernant l'observation des rayons *n*, M. Blondlot fait remarquer : « L'aptitude à saisir de faibles variations d'intensité lumineuse varie beaucoup d'une personne à une autre : certaines personnes voient du premier coup et sans aucune difficulté le renforcement que les rayons *n* produisent dans l'éclat d'une petite sourse lumineuse; pour d'autres, ces phénomènes sont presque à la limite de ce qu'elles peuvent distinguer, et ce n'est qu'après un certain temps d'exercice qu'elles parviennent à les saisir couramment et à les observer en toute sûreté. La petitesse de ces effets et la délicatesse de leur observation ne doivent pas nous arrêter dans une étude qui nous met en possession de radiations restées jusqu'ici inconnues. J'ai constaté récemment que le bec Auer peut être remplacé avantageusement par la lampe Nernst, sans verre, qui donne des rayons *n* plus intenses : avec une lampe de 200 watts, les phénomènes sont assez forts pour être, à ce que je crois, aisément visibles d'emblée par tous les yeux. »

(2) Voir numéro du 14 novembre, p. 267.

Digitized by Google

sion l'étude des systèmes proposés pour remédier à l'insuffisance du moteur à courant continu, ainsi que la discussion des arguments présentés pour et contre l'emploi de chaque système.

2° Le compte rendu des essais comparatifs qu'il a pu faire à Milan à l'aide d'un moteur à courant alternatif simple et à collecteur ne différant pas essentiellement du moteur à courant continu ordinaire, mais proportionné de manière à éviter les défectuosités manifestées par ce dernier quand on l'emploie sous courant alternatif, notamment les étincelles aux balais.

Nous nous bornerons aujourd'hui à analyser la seconde partie de la communication de M. le Dr Finzi, consacrée à l'exposé de ses travaux personnels et à ses essais.

I. Essais d'atelier. — Le moteur de traction étudié par M. le Dr Finzi a été essayé d'abord dans les ateliers de construction de la Maison Gadda, Brioschi et Finzi, et les courbes caractéristiques en sont données dans la figure 1.

Les courbes, en traits pointillés de la figure 1 donnent, pour chaque différence de potentiel appliquée, les ampères en fonction de la vitesse

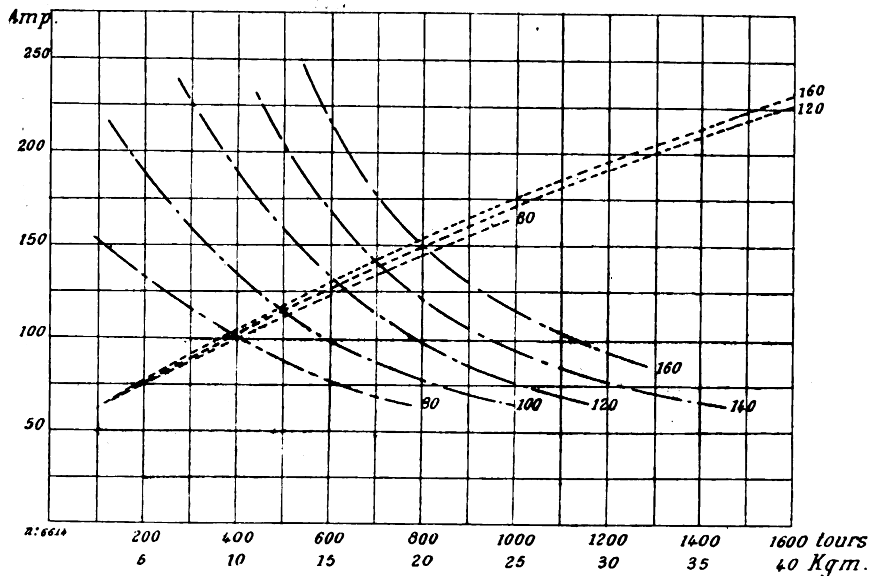


Fig. 1

angulaire, et les courbes en traits ponctués, les ampères en fonction des efforts ou couples de traction.

On voit que le couple correspondant à une valeur donnée de l'intensité dépend de la différence de potentiel appliquée, ou que, pour un couple donné, l'intensité est un peu plus grande à voltage un peu plus élevé, et la différence est d'autant plus nette que le couple ou l'effort de traction est plus grand. Aux différents voltages appliqués correspond donc en définitive un faisceau de courbes d'efforts et de courant légèrement divergentes.

La figure 2 donne pour différents voltages appliqués les valeurs du rendement et du facteur de puissance en fonction de la vitesse.

On voit que plus la différence de potentiel appliquée est faible, plus sont réduites les vitesses qui correspondent au maximum de rendement, ce qui favorise le bon rendement du démarrage progressif du moteur, par l'application de différences de potentiel progressivement croissantes. Cela donne aussi une sorte d'auto-régulation du rendement, qui aide à maintenir à une valeur assez élevée le rendement moyen, puisque, en général, la vitesse est d'autant plus faible que le voltage est plus bas.

II. Essais de service. — Pour les essais de service le moteur a été monté sur une des voitures de la Compagnie Edison de Milan, voiture dont l'équipement électrique comporte un moteur à courant continu de 27 chevaux environ : le moteur GE-52.

Ce moteur à courant continu pèse environ 700 kg.

Digitized by Google

Le contrôleur de commande à courant continu pèse 72 kg environ.

Et le rhéostat 80 kg.

Par la substitution du moteur à courant alternatif simple, pesant environ 800 kg, et du transformateur destiné à en régler la vitesse, et pesant environ 500 kg, on élève le poids total de la voiture complète de 6,7 tonnes à 7,15 tonnes.

M. le Dr Finzi fait remarquer que le transformateur employé comme régulateur n'avait pas été construit spécialement à cet effet et qu'au lieu du poids indiqué de 500 kg, on eut pu se contenter du poids strictement nécessaire de 250 kg, ce qui réduirait le poids total d'une voiture ainsi équipée à une valeur très peu différente du poids de la voiture équipée à courant continu (6850 kg au lieu de 6 700 kg).

Le montage de l'équipement et son mode de régulation sont représentés dans la figure 3.

L'amenée du courant se fait par le fil aérien alimentant la ligne d'essais, ligne à courant continu qu'on a simplement débranchée et alimentée par courant alternatif simple à 18 périodes. Le retour du courant se fait par les rails de roulement de la voie.

Le courant emprunté au trôlet passe par l'in-

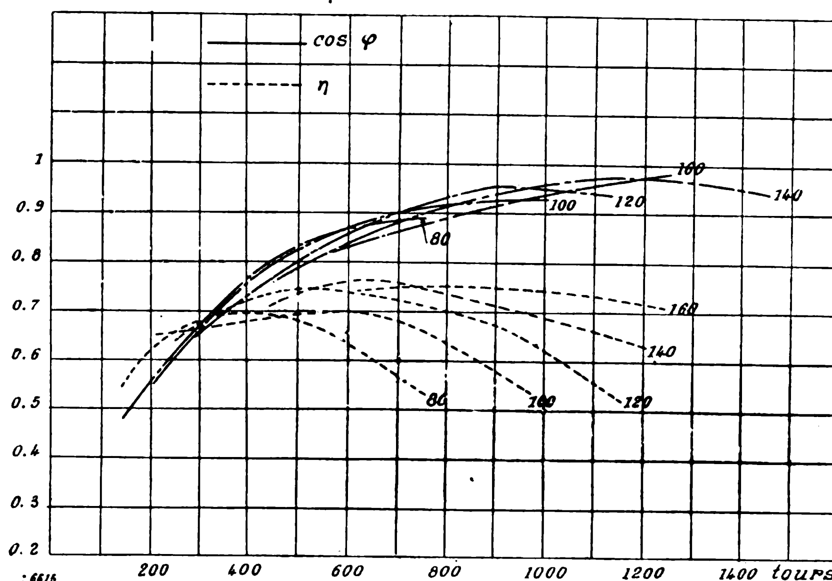


Fig. 2

terrupteur I' placé sur l'avant d'une des plateformes se rend de là au régulateur monté sur l'autre plate-forme, traverse un ampèremètre A, un fusible φ et un autre interrupteur I''.

Il traverse alors le régulateur ou auto-transformateur, qui l'envoie au moteur, et il en traverse l'inducteur E et l'induit, dont le pôle de sortie est relié au châssis, c'est-à-dire à la voie qui sert de retour au courant.

La figure représente 5 sections secondaires du transformateur, qui correspondent, si le primaire est alimenté à 500 volts, aux tensions respectives 80, 100, 120 et 140 volts.

Ces positions sont franchies sans étincelles, et on peut s'arrêter à l'une quelconque d'entre elles comme position de marche permanente, ce qui n'est pas le cas dans les équipements à courant continu où les résistances de réglage sont calculées pour suffire aux démarrages seulement et ne pourraient pas rayonner longtemps une quantité d'énergie considérable.

Cette quantité d'énergie absorbée dans les résistances est évidemment, dans les cas d'équipements à un seul moteur, égale à 50 p. 100 de l'énergie totale absorbée au démarrage, et, dans le cas de deux moteurs et de réglage-série parallèle, elle s'abaisse à 25 p. 100 de l'énergie totale absorbée.

On voit qu'avec la disposition de la figure 3 aucune énergie n'est dissipée dans des résistances et c'est en tenant compte de ces éléments de comparaison que M. Finzi indique plus loin les rendements comparatifs de l'équipement à courant continu et de l'équipement à courant alternatif.

Digitized by Google

L'inverseur de marche est représenté en C, simple commutateur destiné à inverser l'enroulement inducteur. A et V sont respectivement l'ampèremètre et le voltmètre à fil chaud, utilisés pour les lectures de l'intensité du courant et de la différence de potentiel de la voiture.

La voiture était aussi munie d'un accélérimètre Kapp, enregistrant son accélération, et pour vérification on employa plusieurs méthodes d'évaluation de la vitesse, notamment la méthode indirecte, qui consiste à la déterminer d'après les courbes d'atelier, les lectures d'intensité et de voltage prises aux appareils A et V.

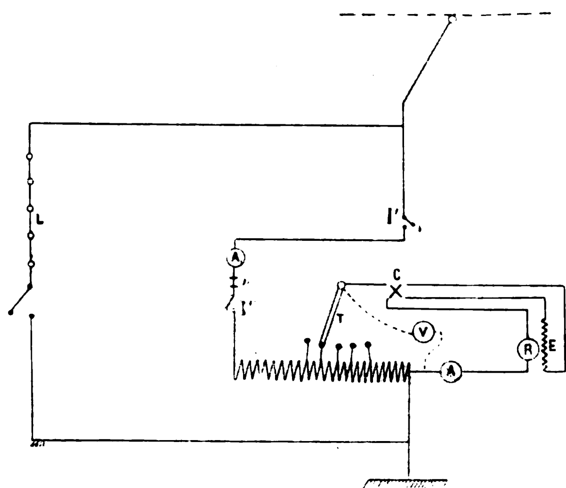


Fig. 3.

Pour l'alimentation de la ligne, on avait installé, près du laboratoire de l'usine Porta Volta, un groupe moteur générateur donnant le courant alternatif voulu, et une excitatrice appropriée.

Le groupe moteur générateur était composé d'un moteur d'induction triphasé de 60 chevaux à 3 600 volts, commandant par courroie un alternateur à 8 pôles et à induit tournant, donnant par conséquent à la vitesse approximative de 270 tours par minute un courant d'une fréquence de 18 périodes par seconde.

L'excitatrice adjointe à cet alternateur était une ancienne dynamo bipolaire du type primitif d'Edison.

L'alternateur produisant le courant sous la tension de 90 volts, un auto-transformateur élevait son voltage à 550 volts, et ses deux pôles secondaires étaient reliés respectivement au trôlet et aux rails de roulement.

Cette usine génératrice, improvisée pour les essais, comporte enfin les appareils de lecture suivants : 1 voltmètre ; 1 ampèremètre à fil chaud ; 1 compteur Thomson-Houston ; 1 wattmètre Siemens et 1 wattmètre enregistreur Olivetti.

Le voltmètre mesurant le voltage de la ligne indiquait, pour limite des variations observées, la tension de 575 volts à vide et la tension de 520 volts en marche.

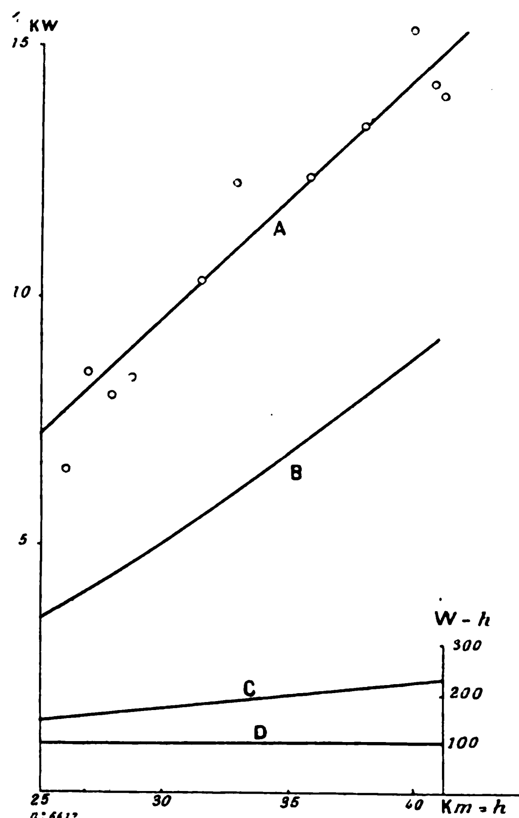


Fig. 4.

Différents circuits du réseau de tramways furent ainsi parcourus par la voiture aux essais, la plupart des parcours, notamment ceux qu'on a enregistrés systématiquement, et dont nous allons rendre compte, ont été exécutés sur la ligne qui relie le cimetière monumental au cimetière de Musocco, d'une longueur d'environ 5 km, avec rampe maxima de 25/1000e, et quelques courbes accentuées.

Les essais ont eu lieu toutes les deux nuits du 29 juin 1903 jusqu'au 28 juillet, et se sont achevés par divers parcours de la voiture attelée de remorques sur différentes lignes du réseau et sur la ligne de ceinture.

Digitized by Google

Le parcours total ainsi réalisé est de 200 km.

Résultats. — Autant dans les essais à l'atelier que dans les essais de service le principal inconvénient du moteur à courant alternatif simple, qui consiste dans les étincelles aux balais, ne s'est jamais manifesté.

Les autres vérifications principales résultent de deux séries d'essais distinctes :

1° *Les uns basés sur les lectures instantanées et les diagrammes enregistrés*, et qui font connaître la *puissance nécessaire pour maintenir les différentes vitesses de service à l'exclusion des accélérations réalisées pour les obtenir*. Ces essais ne comportaient évidemment pas de démarrages, ou le moins possible de démarrages.

2° *Les autres basés sur les lectures d'intégration* du wattmètre après un certain nombre d'accélérations et d'arrêts pour déterminer l'énergie absorbée par les démarrages.

Bien entendu, ces résultats ont été répétés comparativement sur l'équipement à courant continu du type employé couramment sur le réseau de Milan.

La première série d'essais est représentée par la figure 4.

La courbe A représente l'énergie absorbée à

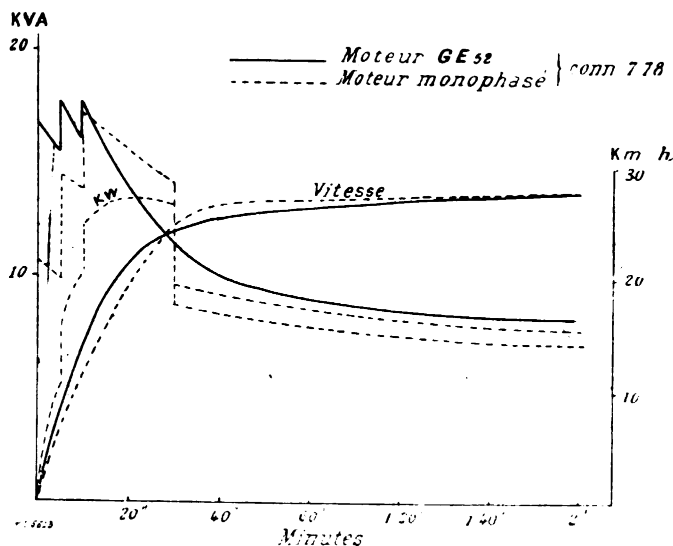


Fig. 5.

l'usine génératrice pour maintenir en marche un équipement monophasé de 10 tonnes, à des vitesses variant de 25 à 40 km à l'heure.

Elle représente une moyenne de toutes les expériences de la première catégorie aussi exactement qu'on peut l'obtenir par des parcours répétés sur une voie ne présentant ni palier, ni un alignement rigoureusement droit.

La courbe B représente la puissance développée par le moteur, sa détermination s'est faite à l'aide de la courbe A, en tenant compte des pertes en ligne, des pertes de transformation et du rendement du moteur d'après les essais d'atelier et les lectures de voltage et de vitesse.

La courbe C représente, pour la voiture-kilomètre de 10 tonnes, l'énergie en watts-heure dépensée.

La courbe D donne l'énergie dissipée en frottement mécanique pour cette voiture-kilomètre de 10 tonnes.

La figure 5 représente la comparaison entre les accélérations obtenues par le moteur à courant alternatif et le moteur à courant continu, d'après les moyennes d'essais répétés sur l'un et l'autre équipement, tour à tour dans un sens et dans l'autre pour éliminer l'effet des rampes.

Si on admet que, pour le service de ville une voiture de tramway doit atteindre la vitesse maxima de 22 km à l'heure pour réaliser une vitesse moyenne de 17 km à l'heure, et si on donne à peu près la même accélération aux deux voitures pour comparer la marche des deux équipements, on réalise les diagrammes de marche représentés figure 5, en traits pleins

Digitized by Google

pour le moteur à courant continu GE-52, et traits interrompus pour le moteur à courant alternatif simple.

En réalité la vitesse de 22 km : heure est atteinte : par le moteur à courant alternatif avec une accélération moyenne de 0,25 m par seconde : par seconde; par le moteur à courant continu avec accélération moyenne de 0,28 m par seconde : par seconde.

On peut encore élever cette accélération du moteur à courant continu et la pousser au delà de 30 cm par seconde : par seconde pour réduire la durée de marche avec résistance, c'est-à-dire à bas rendement, tout en maintenant la vitesse commerciale imposée. Mais nous reconnaissons volontiers que cela n'élève pas beaucoup le rendement moyen de l'équipement à un seul moteur inférieur de 25 p. 100 au rendement des équipements à deux moteurs dans la période de démarrage.

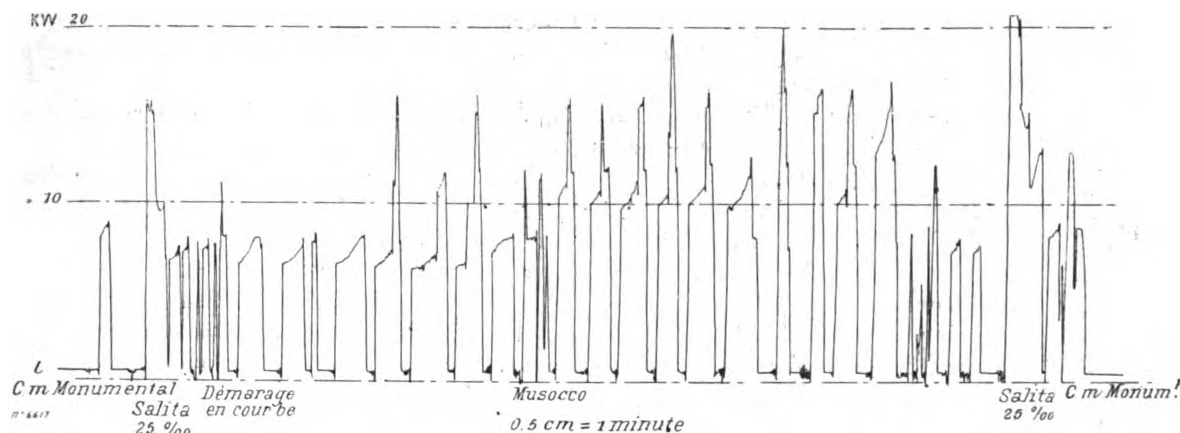


Fig. 6.

Les courbes de la figure 5 font connaître en fonction du temps l'énergie absorbée et les vitesses atteintes, et pour le moteur à courant monophasé, la courbe supérieure de la figure 5 représente les voltampères absorbés par le moteur. La courbe inférieure représente les kilowatts en ligne, déduits des lectures prises au cours d'essais et des caractéristiques relevées à l'usine.

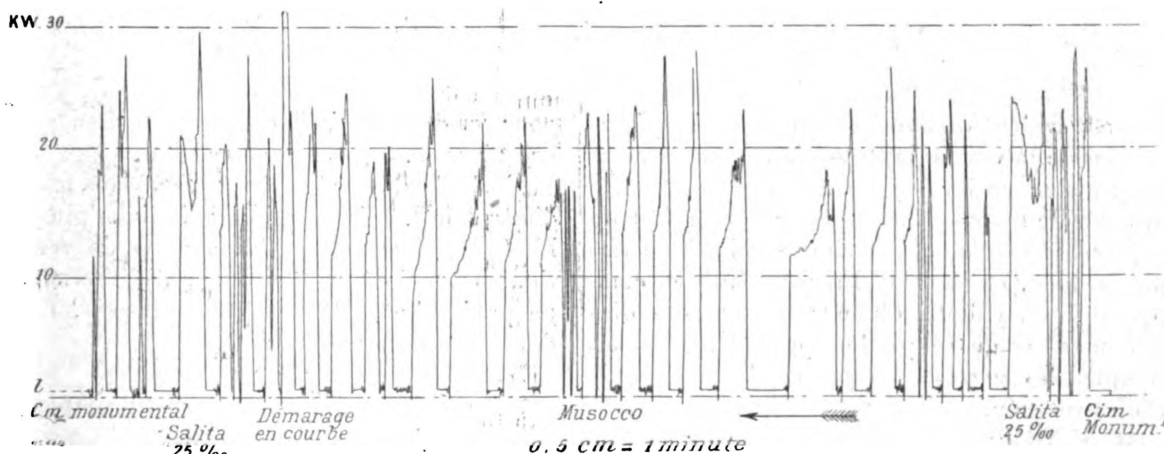


Fig. 7.

M. le Dr Finzi déduit de ces essais comparatifs que le moteur à courant alternatif simple, bien qu'ayant un moindre rendement intrinsèque, a un meilleur rendement au démarrage, en raison du mode de régulation plus économique auquel il est soumis, mode de régulation qui exclut l'emploi de résistances de démarrage.

Nous pouvons rappeler à ce propos qu'en fait le réseau de Milan est équipé de voitures à un

Digitized by Google

seul moteur à courant continu, et le démarrage est réglé rhéostatiquement au moyen de résistances qui dissipent 50 p. 100 de l'énergie totale absorbée au démarrage.

Intégrant les courbes de puissance pour chaque moteur à la vitesse de 22 km à l'heure, M. le Dr Finzi trouve que le moteur monophasé dépense 9,4 watts-heure par tonne kilomètre, et le moteur à courant continu 12,35 watts-heure par tonne-kilomètre. Mais les deux équipements n'atteignent cette vitesse ni au bout du même temps, ni au bout du même parcours.

M. le Dr Finzi fait donc ensuite l'intégration pour la vitesse de 23,5 km à l'heure, que les deux moteurs mettent le même temps à atteindre, sans parcourir pour cela la même distance (le moteur à courant continu parcourant la distance la plus grande). M. le Dr Finzi trouve pour le moteur à courant alternatif simple 10,6 watts-heure par kilomètre, et pour le moteur à courant continu 14,85.

Réduisant dès lors la comparaison à la vitesse de 22 km à l'heure, il trouve pour le moteur à courant alternatif simple 9,45 watts-heure, pour le moteur GE-52 13,1.

Les résultats des essais de la seconde série effectuée à vitesse moyenne sensiblement constante, mais avec un nombre différent de démarrages, sont résumés par M. le Dr Finzi dans le tableau suivant :

Dans la détermination du nombre de démarrages par kilowatt, donné dans la colonne 5, il a été admis que trois ralentissements complets équivalaient à un démarrage absolu.

DISTANCE EN KM	POIDS en tonnes.	VITESSE MOYENNE en km.-heure.	VITESSE MAXIMA en km.-heure.	NOMBRE de démarrages en km.	WATTS-HEURE par tonne-km.	WATTS-HEURE par démarrage et par tonne.
23,6	7,78	21	25	1,02	43,1	11
10	9,05	20	22	0,33	33,2	11
10	9,45	23,5	25	0,26	32,6	11,6
20	8,21	17	21	1,35	37,2	10
10	7,78	17,4	22	2,03	43,2	10

Il est évident qu'une légère erreur dans l'évaluation de la vitesse maxima suffit pour influencer grandement les résultats, auxquels il importe dès lors de ne pas attacher un caractère de trop rigoureuse précision, mais une vérification s'imposait donc, et M. le Dr Finzi l'a faite en comparant les résultats obtenus à ceux des diagrammes enregistrés par les appareils, en tenant compte des pertes en ligne et des pertes de transformation.

M. le Dr Finzi conclut en faisant ressortir l'importance d'une économie ainsi effectuée sur des démarrages de tramways urbains : l'énergie absorbée pour l'ensemble des démarrages représentant, d'après lui, 50 p. 100 et quelquefois jusqu'à 65 p. 100 de l'énergie totale consommée.

Les figures 6 et 7 sont les reproductions des diagrammes de la station génératrice pour le parcours de 10 km de Milan à Musocco et retour, à la vitesse moyenne de 17,3 à 17,8 km à l'heure pour les deux équipements avec le même nombre d'arrêts, environ 2,25 par km.

L'échelle des ordonnées diffère dans les deux diagrammes. L'intégration qu'indique plus haut M. le Dr Finzi, et qui lui a servi de vérification, a été faite en traçant ces diagrammes sur un papier homogène et en les pesant. Elle a donné les résultats suivants :

Moteur à courant alternatif simple :

L'équipement à courant alternatif simple pèse 9,45 tonnes.

Consommation 425 watts-heure.

Consommation spécifique 45 *watts-heure par tonne-kilomètre.*

Moteur à courant continu :

L'équipement à courant continu pèse 9,5 tonnes.

Consommation 675 watts-heure.

Consommation spécifique 70 *watts-heure par tonne-kilomètre.*

P. L.

Le Gérant : CH. COINTE.

Digitized by Google

Tome XXXVII Samedi 12 Décembre 1903. 10e Année. — N° 50

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

CONGRÈS D'ANGERS

DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

L'an dernier, en rendant compte du Congrès tenu à Montauban par l'Association française pour l'avancement des sciences [1], nous constations avec satisfaction que les communications faites à la section de Physique, présidée par M. Mathias, étaient nombreuses et intéressantes. La même constatation est à faire pour le Congrès qui a eu lieu en août dernier à Angers, ainsi qu'on pourra s'en convaincre en parcourant la liste ci-dessous [2]

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 265, 301, 351 et 383, 23 et 30 août, 6 et 13 septembre 1902.

(2) *Séance du mardi 5 août:* Sur un nouveau spectroscope autocollimateur, par Ch. Fabry, professeur à la Faculté des sciences de Marseille.

Représentations graphiques simplifiées, par Ulysse Lala, docteur ès sciences, professeur de physique à l'École des Beaux-Arts et des sciences industrielles et à l'École supérieure du Commerce, de Toulouse, et J. Roda-Plius, boursier d'agrégation des sciences mathématiques à l'Université de Toulouse.

Sur l'emploi en physique de la division décimale du quart de cercle, par J. de Rey-Pailhade, ingénieur civil des Mines

Recherches sur la résistivité de l'urine humaine, par R. Demerliac, professeur de physique à l'École de médecine de Caen.

Note pour servir de base à la discussion de l'utilisation des ondes électriques, par A. Turpain, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers.

Sur les cohéreurs à diélectrique solide, par Ch. Maurain, maître de conférences à la Faculté des sciences de Rennes.

Sur la durée du phénomène de cohérence, par le lieutenant de vaisseau C. Tissot, professeur de physique à l'Ecole navale de Brest.

Sur la thermoélectricité du fer et des aciers, par G. Belloc, chef des travaux de physique à la Faculté des sciences de Caen.

Décarburation des aciers et lames métalliques minces par évaporation dans le vide, par G. Belloc.

Digitized by Google

des travaux présentés aux cinq séances qu'a dû tenir la section de Physique [1].

La *Télégraphie sans fil* qui, à Montauban, avait été l'objet de nombreuses communications à la section de Physique, formait, cette année, une partie importante du sujet soumis à la discussion de la section : L'utilisation des ondes hertziennes. Cette discussion a été

Séance du mercredi 6 août : Sur un nouveau mode de transformation de la chaleur en travail, par Casalonga.

Sur l'hystérésis diélectrique et la méthode d'oscillation de M. W. Schaufelberger, par F. Beaulard, professeur adjoint à l'Université de Grenoble.

Emploi de la lampe électrique à incandescence comme étalon photométrique, par Ch. Fabry.

Photographie par moulage transparent, par Stéphane Leduc, professeur à l'école de médecine de Nantes.

Champs de cristallisation et cristallogénie, par Stéphane Leduc.

Sur les changements de phase par réflexion dans le quartz sur l'argent, par J. Macé de Lépinay et H. Buisson.

Remarques à propos du mémoire de Ramsay et Shields, par E. Mathias, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse.

Sur le fonctionnement des cohéreurs associés, par A. Turpain.

Nouveau dispositif de radiateur pour la télégraphie sans fil, par A. Blondel.

Sur l'application des couples thermoélectriques à la réception des signaux de télégraphie sans fil, par A. Blondel.

Appareils détecteurs de mesures pour la réception des ondes électriques en télégraphie sans fil, par C. Tissot.

Sur l'amortissement des oscillations électriques de période moyenne, par J. de Kowalski, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

Séance du samedi 8 août (matin) : Nouvel appareil de photomicrographie, par Adolphe Dival, pharmacien de 1re classe, ex-chef du Laboratoire de matière médicale de l'Université de Bordeaux.

Redressement des clichés photographiques par le « Scopa », amplificateur-redresseur, automatique et universel, par Pasquereau.

Note sur une réception accordée pour la télégraphie par ondes hertziennes par cohéreur-condensateur et résonateur Oudin tripolaire, par Octave Rochefort.

Télégraphie sans fil, par Ferdinand Braun.

Nouveau système de radiateurs pour la télégraphie sans fil, par A. Blondel.

Prévision, quelques heures d'avance, du passage d'un grain de vent avec orage probable et tornade possible, en un lieu donné, à une heure déterminée, par F. Durand-Gréville.

Décharges électriques dans l'air atmosphérique, par J. de Kowalski.

Séance du samedi 8 août (soir). Note sur la thermodynamique, par A. Auric, ingénieur des ponts et chaussées, à Valence.

Note sur les divers états des corps, par A. Auric.

Sur la variation du module d'élasticité du fer aux hautes températures, par Ch. Ed. Guillaume, directeur adjoint du Bureau international des Poids et Mesures.

Comparaison de l'intensité lumineuse du soleil avec celle des étoiles. Recherches de photométrie solaire, par Ch. Fabry.

Enregistrement d'orages par cohéreurs à l'Observatoire du Puy-de-Dôme durant l'été 1903, par A. Turpain et P. David.

Les phénomènes de l'électricité atmosphérique observés au moyen du cohéreur, par A. Turpain.

Sur la variation diurne de la déperdition de l'électricité dans l'atmosphère, par A. Gockel.

Séance du lundi 10 août : Sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction, par A. Turpain.

Remarques sur la précédente communication, par A. Blondel.

Variation de l'intensité actinique de la lumière avec l'altitude, par Nogier, préparateur de physique biologique à la Faculté de médecine de Lyon.

Phénomènes de fluorescence d'origine mécanique, et d'origine chimique, par Bordier et Bridon.

Les incendies à bord, par le lieutenant-colonel E. Devillez.

Mesure des courants de haute fréquence, par A. Broca et Turchini.

Quelques remarques sur les antennes de transmission, par A. Blondel.

Sur l'augmentation de la puissance mise en jeu dans les antennes de transmission, par A. Blondel.

Sur un nouvel appareil de mesure des températures d'inflammabilité, par Adolphe Goy.

Sur la loi de distribution régulière de la force totale du magnétisme terrestre en France au 1er janvier 1896, par E. Mathias.

(1) Le bureau de cette section était ainsi constitué :

Présidents d'honneur : M. Carpentier, président de l'Association en 1902, et de Kowalski, professeur à l'Université de Fribourg (Suisse).

Président : A. Turpain, professeur à la Faculté des sciences de Poitiers.

Vice-président : Pellin, constructeur d'instruments d'optiques.

Secrétaire : J. Blondin.

Digitized by Google

des plus instructives et l'honneur doit en être rapporté au président de la section, M. Turpain, qui non seulement avait eu soin de préparer un mémoire pour servir de bases à la discussion [1], mais encore avait provoqué par des démarches personnelles l'envoi de nombreuses communications sur cette question. La section de Météorologie, présidée par M. B. Brunhes, a d'ailleurs contribué à son intérêt en se réunissant à la section de Physique pour discuter un point spécial de la question : la prévision des orages par les dispositifs de la télégraphie sans fil.

Nous donnerons dans les prochains numéros le compte rendu de cette discussion et des mémoires qui s'y rapportent, nous bornant à donner aujourd'hui une analyse de quelques communications relatives à des sujets variés. J. Blondin.

Sur les décharges électriques dans l'air, par **J. de Kowalski**, professeur à l'Université de Fribourg.

L'auteur commence par décrire les expériences qu'il a exécutées avec M. Moscicki sur l'action chimique des décharges à haute fréquence dans les mélanges gazeux. Il se trouve qu'à une certaine fréquence, la décharge à travers un milieu gazeux prend un aspect spécial qui dépend d'ailleurs encore de la quantité d'énergie électrique mise en jeu. Les actions chimiques dans une telle décharge présentent au point de vue des applications une très grande importance : dans l'air il se forme en abondance des vapeurs nitreuses ; dans un mélange de gaz carbonique et d'azote, il se forme des vapeurs nitreuses et de l'oxyde de carbone ; avec un mélange de vapeurs de benzine et d'azote, on obtient du cyanogène et de l'hydrogène.

En raison de l'importance pratique du problème, MM. de Kowalski et Moscicki se sont surtout occupés de la production des vapeurs nitreuses et par suite de l'acide nitrique [2].

On peut obtenir jusqu'à 44 gr d'acide nitrique par kilowatt-heure, et il ressort des calculs que le prix du kilogramme de nitrate de calcium ne dépasserait pas 13 centimes.

Ensuite M. de Kowalski décrit les expériences faites avec des décharges électriques à la surface des isolants. Si un côté d'une plaque isolante est couvert d'une couche conductrice tandis que sur l'autre côté on produit des décharges, on obtient des étincelles beaucoup plus longues que celles qu'on obtient si la couche conductrice est supprimée. Des photographies, présentées par l'auteur, montrent que les étincelles suivent exactement la voie tracée par une couche conductrice sur le côté de la plaque opposé à la décharge : ainsi on peut obtenir des étincelles en triangle, en carré, en zigzags, etc. L'auteur termine en faisant observer les analogies que présentent ces décharges avec celles qui se produisent dans l'atmosphère pendant les orages.

Sur l'amortissement des oscillations électriques de période moyenne, par **J. de Kowalski**, professeur à l'Université de Fribourg.

L'auteur a étudié les causes de désaccords qui existent entre la formule théorique donnée par lord Kelvin pour l'amortissement des oscillations électriques et les résultats des expériences de divers physiciens. Il arrive à démontrer que la formule de Lord Kelvin est exacte et cela à 1/2000e près. Les désaccords trouvés antérieurement ne tiennent qu'à ce que les conditions théoriques des expériences n'étaient pas rigoureusement maintenues.

---

[1] Ce mémoire a été reproduit dans *L'Éclairage Électrique*, t. XXXVI, p. 144, 25 juillet 1903.

[2] Voir la communication sur ce sujet que faisait M. de Kowalski à la séance de juin de la Société internationale des électriciens.

Digitized by Google

M. de Kowalski démontre que c'est surtout le mauvais isolement des bobines de self-induction qui en est la cause principale. La mesure de l'amortissement, qui peut être faite avec une grande précision, donne un critérium de cet isolement. M. de Kowalski termine en insistant sur l'importance de cet isolement dans les différentes applications des oscillations électriques.

Sur l'hystérésis diélectrique et la méthode d'oscillation de M. W. Schaufelberger, par **F. Beaulard**, professeur adjoint à l'Université de Grenoble.

En 1898, M. Schaufelberger a indiqué une ingénieuse méthode pour étudier l'hystérésis diélectrique [1] ; une erreur de calculs a malheureusement rendu inexacts les résultats numériques indiqués par ce physicien. M. Beaulard s'est proposé de résumer les longs calculs de l'auteur, de les simplifier, de corriger l'erreur de la formule fondamentale et d'indiquer le parti qu'on peut tirer de cette méthode pour étudier par exemple l'hytérésis magnétique des liquides.

Le travail de M. Beaulard est des plus intéressants; les formules qu'il renferme, applicables aussi bien aux corps magnétiques qu'aux diélectriques, fournissent un moyen commode de calculer l'hystérésis magnétique des liquides ; mais les applications qu'en fait M. Beaulard aux diélectriques d'après les observations de M. Schaufelberger ne peuvent donner de résultats exacts, ces observations étant, comme l'a montré antérieurement M. Heydweiller et comme le rappelait M. de Kowalski au Congrès, entachées d'erreurs, M. Schaufelberger na pas pris, en effet, toutes les précautions nécessaires pour éviter la formation d'une couche superficielle conductrice par suite d'un dépôt d'humidité sur les substances étudiées par lui.

En raison du caractère mathématique du mémoire de Beaulard, sa reproduction intégrale s'imposerait pour pouvoir en donner une idée complète ; à cause de sa longueur, nous nous bornerons à reproduire le résumé suivant fait par l'auteur lui-même :

« La méthode de M. Schaufelberger consiste à faire osciller entre les plaques d'un condensateur, chargé ou non chargé, un ellipsoïde allongé de révolution autour de son axe de suspension, supposé vertical, et à déterminer le décrément logarithmique dans les deux cas. Soient O le centre de l'ellipsoïde, Oz l'axe vertical de suspension, Ox l'axe horizontal dirigé suivant les lignes de forces, H le champ, uniforme, avant l'introduction de l'ellipsoïde. Après cette introduction, le champ reste uniforme et devient $f = \frac{H}{1 - \varkappa L}$, L étant une fonction elliptique qui dépend de la grandeur des axes de l'ellipsoïde et de l'excentricité e de l'ellipse méridienne. L'intensité de la polarisation j étant liée au champ par $j = \varkappa f$, l'induction a pour valeur

$$F = H - Lj + 4\pi j = f + 4\pi j = (1 + 4\pi\varkappa) f.$$

Pour l'éther $1 + 4\pi\varkappa = K = 1$; d'où $\varkappa = 0$ et $j = 0$; f correspond donc à la polarisation de l'éther et $4\pi j$ à celle de la matière (Hertz).

» L'ellipsoïde se recouvre de deux couches d'électricité, séparées par une ligne neutre (ellipse méridienne dans zOy) ; la quantité de chaque couche est $j\pi ac$ (a et c demi-axes de l'ellipsoïde). On peut supposer chaque couche concentrée en son centre de gravité G situé sur Ox, à la distance $\frac{2}{3}a$ de O. Dans l'oscillation, cette masse reste en retard ; quand l'ellipsoïde a tourné de u, la couche a été entraînée d'un angle $\omega = u - v$ et le

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 538, 24 décembre 1898, et t. XIX, p. 38, 3 avril 1899.

Digitized by Google

maximum j de la polarisation, au lieu de rester constamment sur Ox est sur $O\alpha$ faisant l'angle $\omega = u - v$ avec Ox. Les forces agissant sur G sont alors : H parallèle à Ox, $-$ Lj suivant $O\alpha$ et $+ 4\pi j$ aussi suivant $O\alpha$. Les composantes suivant $O\alpha$ sont constantes, ω étant petit, mais la composante $H \sin \omega = H\omega$ perpendiculaire à $O\alpha$ donne un couple qui tantôt accélère, tantôt retarde l'oscillation, ce dernier effet étant prépondérant ; le couple qui agit a pour moment

$$M = H(u - v) \times j \pi a c \times \frac{4}{3} a = VjH(u - v).$$

Grâce au retard, la valeur j à l'époque t n'est pas proportionnelle à la valeur f du champ polarisant à l'époque t, mais à l'époque antérieure $t - \tau$; c'est-à-dire $j_t = \varkappa f_{t-\tau}$.

» Si on considère un système d'axes Ox' et Oy' solidaires de l'ellipsoïde, on voit que les composantes $f_{x'}$ et $j_{x'}$ sont constantes, que seules les composantes $f_{y'} = - Hu - jv$L et $j_{y'} = jv$ sont variables avec le temps. On appliquera la relation $j = \varkappa f$ aux seules composantes suivant Oy', ce qui introduit la valeur des angles u et v aux époques t et $t - \tau$. Un développement en série permet de calculer $u_t - v_t$ et par suite le terme

$$VjH(u - v) = VjH\left[\frac{\tau}{1 - \chi L}\frac{du}{dt} - \frac{1 + \varkappa L}{(1 - \varkappa L)^2}\frac{\tau^2}{2}\frac{d^2u}{dt^2}\right].$$

On a alors l'équation différentielle du mouvement oscillatoire :

$$J\frac{d^2u}{dt^2} + A\frac{du}{dt} + Cu + VjH(u - v) = 0.$$

» L'étude de l'amortissement permet d'exprimer le coefficient numérique facteur de $\frac{du}{dt}$ (proportionnel à la vitesse) au moyen du décrément logarithmique des oscillations l et l', le condensateur chargé et non chargé, d'où

$$\tau = 4{,}606\,\frac{J(1 - \varkappa L)^2}{VH^2}\left(\frac{l}{T} - \frac{l'}{T'}\right),$$

T et T étant les périodes d'oscillation dans les deux cas.

» L'énergie absorbée par l'hystérésis par oscillation se calculera par

$$W = VjH\int_0^T (u - v)\,du = V\varkappa\,\frac{H^2 u_0^2}{(1 - \varkappa L)^2}\,2\pi^2\,\frac{t}{T},$$

u_0 étant l'amplitude maximum.

» L'énergie totale, calculée suivant le mode de Maxwell, est égale à

$$W_M = \frac{V}{4\pi}\,\frac{Hu_0}{1 - \varkappa L}\,(f_{y'} + 4\pi j_{y'}).$$

Avec la conception de l'*éther au repos*, elle se simplifie et devient

$$W'_M = \frac{V\varkappa H^2 u_0^2}{(1 - \varkappa L)^2};$$

sinon (éther entraîné par la matière, Hertz), on a

$$W''_M = \frac{V}{4\pi}\,\frac{1 + 4\pi\varkappa}{(1 - L)^2\varkappa}\,H^2 u_0^2.$$

» Le rapport de l'énergie utilisée à l'énergie totale est donc, suivant l'hypothèse faite :

$$\rho' = 1 - 2\pi^2\frac{\tau}{T} \qquad \text{ou} \qquad \rho'' = 1 - \frac{4\pi\varkappa}{1 + 4\pi\varkappa}\,2\pi^2\,\frac{\tau}{T}.$$

Digitized by Google

» *Conclusions.* Pour la paraffine $K = 1 + 4\pi\kappa = 2$; $\frac{\tau}{T} = 0{,}0049$; $\rho' = 1 - 0{,}096$; $\rho'' = 1 - 0{,}048$. L'énergie absorbée par hystérésis représente, dans le cas de l'éther au repos, 10 p. 100 de l'énergie totale, et, dans le cas de l'éther lié à la matière 5 p. 100. Or l'hystérésis de la paraffine *pure* est nulle ou à peu près, ainsi que l'auteur l'a prouvé antérieurement (1). La seconde hypothèse (conception de Hertz, éther entraîné par la matière) est donc la plus vraisemblable ; c'est l'hypothèse fondamentale de l'Electrodynamique de Hertz.

» La même méthode peut être employée à déceler l'hystérésis magnétique dans les liquides (récipient ellipsoïdal oscillant dans un champ magnétique). Il est facile de faire la séparation d'avec les courants de Foucault, dépendant de la section, alors que l'hystérésis ne dépend pas de la vitesse de variation du champ, dans l'espèce, de la rapidité ou de la lenteur des oscillations. »

Sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction, par **A. Turpain**.

De la rapidité avec laquelle se produit la rupture du circuit primaire d'une bobine d'induction dépend la longueur d'étincelles qu'on peut obtenir, toutes choses égales d'ailleurs, entre les pôles de l'induit. Si l'interrupteur est assez rapide, on peut même supprimer avec avantage le condensateur de la bobine. C'est ainsi que lord Rayleigh en coupant le fil du courant secondaire avec une balle de fusil, a pu supprimer le condensateur et obtenir alors une étincelle d'induction notablement plus longue que par une interruption ordinaire.

M. Turpain a pu obtenir des résultats semblables en utilisant la rupture produite avec un interrupteur ordinaire, mais de construction telle que la rupture ait lieu *simultanément* en plusieurs points.

Pour faire comprendre l'importance de la simultanéité de plusieurs ruptures, considérons un certain nombre, trois par exemple, d'interrupteurs à mercure disposés en série, c'est-à-dire de manière que, le mercure du premier communiquant avec le pôle + de la source, la tige de cet interrupteur soit reliée avec le mercure du second, la tige de celui-ci avec le mercure du troisième et enfin la tige de ce dernier interrupteur avec le primaire de la bobine. Si les trois tiges sortent en même temps du mercure, l'arc qui s'établirait pour une différence de potentiel et une intensité données entre une seule tige et son mercure, se change en trois arcs simultanés présentant chacun une longueur moindre que celle d'un arc unique. Les tiges étant animées d'un mouvement donné, la durée de l'interruption sera moindre dans le cas de trois tiges ainsi reliées en série que dans le cas où l'interruption ne se produit qu'entre une seule tige et son mercure.

Dans la pratique, il est facile de remplacer l'interrupteur à tige par un interrupteur à balais et à contacts tournants. On peut avec avantage employer le cuivre sur cuivre, ou le charbon sur cuivre, le tout plongeant dans l'huile de vaseline ou dans le pétrole. Il y aurait également avantage au point de vue des phénomènes de self-induction, à scinder le primaire en autant de tronçons qu'on emploie d'interrupteurs en série et à placer une interruption entre chaque tronçon.

La durée de l'interruption peut être déterminée comme il suit : soient n le nombre d'interruptions en série, l_n la longueur maxima de la suite des n arcs qui s'établissent dans l'isolant baignant l'interrupteur, ω la vitesse angulaire de l'interrupteur rotatif, r le rayon

(1) Beaulard. Sur l'hystérésis. Allier, imprimeur, Grenoble, 1901.

Digitized by Google

du tambour sur lequel les balais interrupteurs frottent ; le temps que dure l'interruption est

$$t = \frac{l_n}{n r \omega}.$$

Pour une valeur donnée du potentiel aux bornes du secondaire et, par suite, de l'intensité du courant secondaire, $\frac{l_n}{n}$ a une valeur donnée ; la durée d'interruption est donc alors d'autant plus courte que r et ω sont plus grands.

Pour le cuivre et le charbon dans le pétrole et pour $I = 15$ ampères, $l_n = 6$ mm (pour $n = 6$) ; si $r = 5$ cm et $\omega = 5\pi$, on a $t = 1/785$ seconde.

En mettant en œuvre un interrupteur rotatif à 6 contacts-série tournant à la vitesse précédente, M. Turpain a pu obtenir, sans condensateur, une étincelle de 18 cm entre les pôles d'une bobine qui, utilisée dans les mêmes conditions avec un interrupteur ordinaire et un condensateur, ne donnait que 12 à 14 cm.

Dans certaines recherches il peut être avantageux de changer entre chaque interruption le sens du courant primaire. M. Turpain a indiqué dans une communication faite en 1901 au Congrès d'Ajaccio [1], une manière facile de réaliser un interrupteur-inverseur en rendant le commutateur-inverseur d'un interrupteur Foucault solidaire du moteur de l'interrupteur et en lui imprimant à l'aide d'un engrenage une vitesse de rotation telle qu'il fasse un demi-tour entre chaque plongée successive de l'interrupteur. Il est possible de construire un semblable interrupteur-inverseur, muni de plusieurs interruptions en série. On obtient alors des étincelles notablement allongées et d'une remarquable constance.

Remarques à propos de la communication précédente, par **A. Blondel.**

M. Blondel fait d'abord observer que le dispositif indiqué par M. Turpain présente un très grand intérêt pour l'accroissement de la puissance mise en jeu. « On ne saurait trop insister, dit-il, sur l'insuffisance des bobines actuelles à ce point de vue. Le jour, en effet, où on pourrait couper brusquement par un interrupteur simple des courants de plusieurs centaines d'ampères, on pourra réaliser des oscillations bien plus énergiques que maintenant dans les radiateurs de la télégraphie sans fil ».

En second lieu, M. Blondel signale à « titre accessoire » qu'on peut utiliser les courants alternatifs des réseaux à l'alimentation, sans interrupteurs, des bobines de Ruhmkorff en employant un dispositif semblable à celui de Tesla.

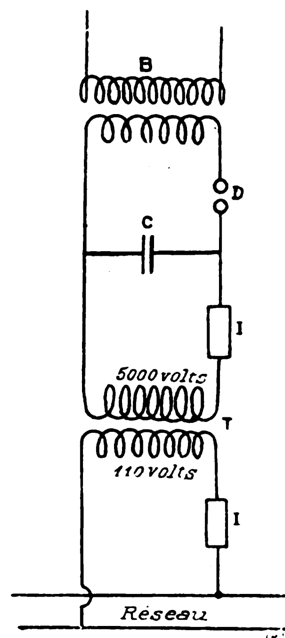


Fig. 1.

Ce dispositif est représenté par la figure 1. Sur le réseau d'alimentation est branché un transformateur T élevant la tension de 110 à 5000 ou 10000 volts. Le circuit secondaire de ce transformateur, shunté par un condensateur C, contient un déflagrateur D et le circuit primaire de la bobine B. (Ce circuit primaire doit nécessairement avoir un isolement plus élevé qu'à l'ordinaire pour pouvoir supporter sans crever quelques milliers de volts.) Chaque décharge du condensateur produit dans le

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 156, 2 novembre 1901.

Digitized by Google

primaire des oscillations bien plus rapides, et par suite plus efficaces que celles que donnerait directement le courant alternatif à basse fréquence du réseau.

On peut régler la puissance mise en jeu en modifiant la capacité du condensateur qu'on formera avantageusement des mêmes substances (verre, étain, pétrole) que pour un dispositif Tesla ordinaire. On prévient la formation de l'arc au déflagrateur par l'addition d'inpédances sur le circuit de basse ou de haute tension du transformateur.

Sur la loi de distribution régulière de la force totale du magnétisme terrestre en France au 1er janvier 1896, par **E. Mathias**, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse.

Après avoir montré antérieurement que les lois de la distribution régulière en France de la composante horizontale H du magnétisme terrestre, de la déclinaison D, de l'inclinaison I [1], et enfin de la composante verticale Z [2], peuvent être exprimées au moyen de formules relativement simples en fonction de la longitude et de la latitude, l'auteur fait connaître la formule analogue pour la force totale T.

I. — M. Mathias a procédé pour la force totale T comme il l'a fait pour la composante verticale en se limitant aux nombres donnés par M. Moureaux pour les mesures magnétiques ramenées au 1er janvier 1896 dans 617 localités [3].

Il est à remarquer que la force totale T étant, comme d'ailleurs la composante verticale, un élément *calculé* et non un élément *observé*, l'erreur avec laquelle elle peut être déterminée dépend des erreurs de mesures des deux éléments H et I servant à son calcul par la formule

$$T = \frac{H}{\cos I}. \qquad (1)$$

Pour trouver la valeur de cette erreur, dérivons les deux membres de la formule précédente ; nous obtenons

$$dT = \frac{1}{\cos I}\, dH - H\,\frac{\sin^2 I}{\cos^2 I}\, dI. \qquad (2)$$

La valeur moyenne de tang I étant 2, on a

$$\sin I = \frac{2}{\sqrt{5}}, \qquad \cos I = \frac{1}{\sqrt{5}};$$

et comme la valeur moyenne de H est 0,2, la relation (2) donne, toutes réductions faites

$$dT = \sqrt{5}\,(dH - 12\,n), \qquad (3)$$

H étant exprimé en unités du cinquième ordre décimal et $n = dI$, en minutes.

Si donc dH et dI sont de même signe, les erreurs se retranchent ; elles s'ajoutent si ces variations sont de signes contraires. Une erreur de 20 unités du cinquième ordre sur H et de 2′ sur I donne, dans le cas où elle s'ajoute,

$$dT = 2{,}24\,(20 + 24) = 98{,}5.$$

On voit donc qu'une erreur de 100 unités du cinquième ordre sur T est de l'ordre

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 96, 13 octobre 1900 et t. XXIX, p. 448, 21 décembre 1901.

(2) Voir Compte rendu du congrès de Montauban de l'Association française pour l'avancement des sciences, *L'Éclairage Électrique*, t. XXXII, p. 317, 30 août 1902.

(3) Th. Moureaux. *Annales du Bureau central météorologique* pour 1898.

Digitized by Google

habituel des erreurs d'expériences, cette erreur pouvant monter à 125 unités dans le cas d'une erreur de 3′ sur l'inclinaison

Les deux valeurs de T trouvées par M. Moureaux à Toulouse, en 1884 et 1895, étant 0,4500 et 0,4510, M. Mathias a admis pour la valeur de la force totale à Toulouse au 1er janvier 1896, la moyenne des nombres précédents, c'est-à-dire 0,45050. En retranchant ce nombre, ou mieux 45050, de toutes les forces totales trouvées par M. Moureaux et exprimées en unités du cinquième ordre décimal, on aura ΔT *observé* ; le ΔT *calculé* sera donné par la loi de distribution qu'il s'agit de trouver.

II. — Pour la recherche de cette loi, M. Mathias a procédé exactement de la même façon que pour la composante verticale. Des tâtonnements réguliers lui ont permis de passer de la formule linéaire

$$\Delta T \text{ (calc.)} = 1{,}3\ (\Delta \text{ long.}) + 5\ (\Delta \text{ lat.}) \tag{4}$$

valable dans une aire étendue autour de Toulouse, à la formule plus exacte

$$\Delta T \text{ (calc.)} = 1{,}3\ (\Delta \text{ long.}) + 5\ (\Delta \text{ lat.}) + 0{,}0008\ (\Delta \text{ long.})^2 - 0{,}0010\ (\Delta \text{ long.})\ (\Delta \text{ lat.}) - 0{,}0008\ (\Delta \text{ lat.}), \tag{5}$$

applicable à toute la France, la Corse y compris.

Tant que la différence ΔT (obs.) — ΔT (calc.) ne dépasse pas en valeur absolue 100 unités du cinquième ordre et même 120 unités pour les grandes valeurs de (Δ long.) et (Δ lat.), on peut considérer la station comme régulière au point de vue de la force totale ; au delà il y a anomalie. Sur cette base la formule (5) a permis de choisir dans les 617 localités visitées par M. Moureaux, 507 stations régulières ; on a pu alors écrire 507 équations à 6 inconnues de la forme.

$$\Delta T \text{ (obs.)} = x + y\ (\Delta \text{ long.}) + z\ (\Delta \text{ lat.}) + t\ (\Delta \text{ long.})^2 + u\ (\Delta \text{ long.})\ (\Delta \text{ lat.}) + v\ (\Delta \text{ lat.})^2. \tag{6}$$

En posant

$$y = 1{,}3 + y', \quad z = 5 + z', \quad t = 0{,}0008 + t', \quad u = -0{,}0010 + u', \quad v = -0{,}008 + v',$$

et retranchant (5) de (6), il vient

$$x + y'\ (\Delta \text{ long.}) + z'\ (\Delta \text{ lat.}) + t'\ (\Delta \text{ long.})^2 + u'\ (\Delta \text{ long.})\ (\Delta \text{ lat.}) + v'\ (\Delta \text{ lat.})^2 = \Delta T \text{ (obs.)} - \Delta T \text{ (calc.)}. \tag{7}$$

Les 507 équations à 6 inconnues de ce type ont été résolues au moyen de la méthode des moindres carrés par le service des calculateurs de l'Observatoire de Toulouse, sous la direction de M. B. Baillaud ; elles ont fourni la solution suivante :

$$x = +16{,}5 \qquad y' = -0{,}028, \qquad z' = +0{,}0457,$$
$$t' = -0{,}000088, \qquad u' = -0{,}000081, \qquad v' = -0{,}000118.$$

La loi de distribution régulière de la force totale pour la France entière, y compris la Corse, est par suite donnée par la formule

$$\Delta T = +16{,}5 + 1{,}272\ (\Delta \text{ long.}) + 5{,}0457\ (\Delta \text{ lat.}) + 0{,}000712\ (\Delta \text{ long.})^2$$
$$- 0{,}001081\ (\Delta \text{ long.})\ (\Delta \text{ lat.}) - 0{,}000918\ (\Delta \text{ lat.})^2. \tag{8}$$

Comme on ne peut pas répondre des 16,5 unités du 5e ordre dans l'évaluation de la force totale, le terme constant de la formule (8) signifie simplement que la force totale admise pour Toulouse, 0,45050, est trop faible de 16 unités du cinquième ordre.

III.— Dans cette partie de son mémoire, M. Mathias donne un long tableau fournissant la vérification de la formule (8).

Si l'on considère comme anomales les stations dont la différence ΔT (obs.) — ΔT (calc.)

Digitized by Google

a une valeur supérieure ou égale à 100 unités, ce tableau montre qu'il y a une centaine de ces stations pour la France entière. Les départements *presque réguliers*, c'est-à-dire qui ne présentent qu'une anomalie sur une moyenne de cinq stations par département, sont au nombre de 32. Ce sont les suivants : Aisne, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes, Ardennes, Ariège, Aube, Aude, Bouches-du-Rhône, Cantal, Corrèze, Côtes-du-Nord, Doubs, Drôme, Hérault, Ille-et-Vilaine, Indre, Loire-et-Cher, Loire, Haute-Loire, Lozère, Manche (2 anomalies), Meurthe-et-Moselle, Nièvre, Pas-de-Calais (2 anomalies), Basses-Pyrénées, Rhône, Haute-Saône (3 anomalies), Sarthe, Savoie (2 anomalies), Seine, Seine-et-Marne, Vaucluse.

M. Mathias donne également un tableau relatif aux localités des départements de Seine et de Seine-et-Marne). Pour le premier on ne trouve qu'une localité anomale (Stains), sur 9; pour le second, une seule aussi (Meaux), sur 15. Les départements de Seine-Inférieure et de Seine-et-Oise présentant à peu près la même régularité, M. Mathias en conclut que « ce qu'on appelle l'anomalie magnétique du bassin de Paris se réduit, tout au moins en ce qui concerne la force totale de ces départements qui viennent d'être cités, à des anomalies isolées séparées par de vastes aires parfaitement régulières. »

Les départements réguliers ou presque réguliers forment un total de 68 répartis uniformément sur la surface de la France, on peut affirmer que la formule (8) représente bien la loi de distribution régulière de la force totale en France et que cet élément est de beaucoup le plus régulier de tous.

IV.— M. Mathias termine par une remarque relative à l'influence de l'altitude sur la force totale.

Dans son *Réseau magnétique de la France au 1er janvier 1896*, M. Moureaux cherchant à montrer l'influence de l'altitude sur la force totale, a dressé le tableau suivant, donné d'ailleurs à titre de simple indication, les déterminations du col de Tourmalet et de Luz-Saint-Sauveur correspondant à un état magnétique troublé.

Stations	Altitude	Force totale
Bagnères-de-Bigorre	540 m	0,4516
Campan	668 »	0,4500
Luz-Saint-Sauveur	700 »	0,4508
Col du Tourmalet	1 800 »	0,4493
Col de Sencours	2 366 »	0,4492
Pic du Midi	2 858 »	0,4477

Sous les réserves indiquées, M. Moureaux concluait que la force totale paraît diminuer quand l'altitude augmente.

M. Mathias fait observer que M. Moureaux comparait des forces totales correspondant à des longitudes et à des latitudes différentes et qu'en second lieu, des deux déterminations faites à Bagnères-de-Bigorre et au Pic-du-Midi, M. Moureaux n'a mis dans le tableau précédent que la valeur la plus élevée de la force totale pour Bagnères-de-Bigorre et la valeur la plus petite pour le Pic-du-Midi.

En ce qui concerne Bagnères-de-Bigorres, la formule (8) indique que les mesures de 1882 et 1891 sont entachées d'anomalies, la première par défaut (— 111), la seconde par excès (+ 146) ; cette première localité doit donc être rayée du tableau. En ce qui concerne le Pic-du-Midi, la mesure de 1895 que M. Moureaux a seule conservée est affectée d'une énorme anomalie par défaut (— 203) tandis que celle de 1891 est presque régulière et doit être seule employée. De plus, la formule (8) montre que le nombre de Luz-Saint-Sauveur est fortement anomal par excès (+ 113), ce qui peut tenir à l'état magnétique troublé dans lequel les mesures ont été prises. Il ne reste de comparables que les mesures de Campan.

Digitized by Google

du col du Tourmalet, du Col de Sencours et du Pic-du-Midi (1891). Pour éliminer l'influence de la longitude et de la latitude, il suffira de comparer les différences T (obs.) — T (calc.) fournies par l'observation et la formule (8). On obtient alors le tableau suivant dans lequel les nombres de la cinquième colonne sont exprimés en unités du cinquième ordre décimal.

Stations	Altitude	T96	T (obs.) — T (calc.)
Campan	668 m	0,4500	+ 8
Col du Tourmalet	1 800 »	0,4493	— 37
Col de Sencours	2 366 »	0,4492	— 52
Pic du Midi (1891)	2 856 »	0,4488	— 93

« Dans ces conditions, conclut M. Mathias, toutes les stations considérées sont régulières, et sous l'influence de l'altitude la force totale diminue progressivement, mais avec une grande lenteur, la différence d'environ 2 200 m entre Campan et le Pic-du Midi se traduisant par une diminution de 101 unités du cinquième ordre, c'est-à-dire étant sensiblement de l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience. Cela montre pourquoi il est inutile d'introduire l'altitude dans la loi de distribution régulière dont il est question dans ce travail. »

Emploi de la lampe électrique à incandescence comme étalon photométrique, par **Ch. Fabry**, professeur à la Faculté des sciences de Marseille.

En vue de recherches de photométrie solaire et stellaire, M. Fabry a dû étudier un étalon photométrique pouvant donner des résultats concordants dans toutes les conditions de pression, d'agitation de l'air, etc.

Il s'est adressé pour cela à la lampe à incandescence déjà employée dans beaucoup de laboratoires comme étalon photométrique secondaire.

Lorsqu'on veut employer une lampe à incandescence comme étalon photométique, il faut régler son régime avec une grande précision, l'intensité lumineuse variant de 6 p. 100 environ, si la tension aux bornes varie de 1 p. 100.

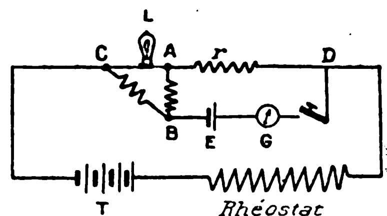


Fig. 1.

L'emploi des appareils de mesure industriels pour contrôler le régime sera en général insuffisant.

De plus, l'intensité lumineuse peut varier progressivement avec le temps, par suite :

1° Du noircissement de l'ampoule. Ce phénomène est très lent, si la lampe n'est pas trop poussée.

2° De la variation (en général augmentation) de la résistance électrique du filament. Si la lampe est alimentée à *tension constante*, la puissance dépensée $\frac{e^2}{R}$ diminue avec le temps et la lampe faiblit, à *intensité constante*, la puissance Ri^2 augmente, et la lampe peut avoir un éclat croissant.

Les meilleurs résultats sont obtenus à *puissance constante*. Mais la puissance devant être maintenue constante avec une grande précision (1 ou 2 millièmes) on ne peut guère songer à employer un wattmètre industriel comme appareil de contrôle. M. Fabry est arrivé à une précision plus que suffisante par une méthode d'équilibre très simple :

Soit L la lampe (fig. 1), alimentée par la batterie d'accumulateurs T, soit E la tension aux bornes de la lampe, I le courant qui la traverse. Mettons en circuit avec la lampe une résistance

AD $= r$. La différence de potentiel aux bornes de cette résistance est

$$V = rI.$$

Si l'on maintient V constant, I sera constant, et d'après ce qu'on vient de dire la lampe travaille à puissance lentement *croissante*.

Plaçons d'autre part en dérivation sur la lampe la résistance ABC, et soit AB $= a$; BC $= b$. La différence de potentiel entre A et B est

$$V' = E \frac{a}{a+b}.$$

Si l'on maintient V' constant, la lampe travaillera à *tension constante*, et par suite à puissance lentement *décroissante*.

Cela posé, faisons travailler la lampe en maintenant constant $V + V'$, c'est-à-dire la tension entre B et D, on doit pouvoir arriver à ce que la lampe travaille à puissance sensiblement constante.

On a en effet

$$E \frac{a}{a+b} + rI = c^{te}.$$

Si la lampe se modifie, E et I varient, et l'on aura

$$\frac{a}{a+b} dE + r dI = 0. \quad (1)$$

On veut que EI $= C^{te}$ ou que

$$\frac{dE}{E} + \frac{dI}{I} = 0. \quad (2)$$

Comme les variations de résistance de la lampe ne sont jamais bien grandes, les variations de E et de I sont faibles, et les équations (1) et (2) peuvent être considérées comme identiques si l'on a $\frac{a}{a+b} E = r I$ ou $V = V'$ [1].

En fait, pour les variations réellement existantes de la résistance du filament, la puissance dépensée reste invariable avec une précision bien plus que suffisante [2].

On maintient constant la tension BD non pas en prenant un voltmètre comme appareil de contrôle, mais en la maintenant égale à celle d'une pile étalon E, que l'on oppose à la tension BD. Le galvanomètre G sert à constater l'équilibre.

On a pris comme lampe une lampe de 8 volts, donnant à peu près 1 bougie, alimentée par une batterie de petits accumulateurs transportables.

On a construit deux étalons de ce genre, chacun comprenant sa lampe et ses résistances. L'un de ces étalons a été laissé allumé tandis que l'autre ne brûlait que quelques minutes par jour pour les comparaisons. Après 500 heures de fonctionnement, il n'y avait pas une variation de 1 p. 100.

A propos de cette communication, M. Blondel a envoyé les remarques suivantes :

---

[1] On a négligé le courant qui passe en ABC devant le courant de la lampe ; le calcul complet ne présente aucune difficulté.

[2] On peut dire aussi que la puissance dépensée dans la lampe passe par un maximum lorsque la résistance est telle que $V = V'$; cette puissance reste donc sensiblement constante si la résistance varie légèrement.

Digitized by Google

« La communication de M. Fabry est du plus haut intérêt pour la photométrie et s'il a pu arriver, en maintenant la puissance constante avec précision et d'une manière simple, à maintenir la puissance lumineuse constante, un résultat des plus utiles se trouve réalisé.

» A ce propos, je désire signaler deux précautions qu'il serait intéressant de prendre pour la fabrication des lampes à incandescence étalon .

» 1° Il faudrait toujours les faire monter dans des ampoules très grandes pour réduire le noircissement dû à la vaporisation du carbone, à durée égale, et éviter plus complètement les variations d'intensité qui en résultent.

» 2° Comme la vaporisation du filament se produit d'abord au dépens de la courbe brillante déposée par le nourrissage dans des vapeurs hydrocarbonées, et qu'une fois cette couche évaporée le pouvoir émissif change complètement; comme d'autre part la résistance de l'âme est très grande en comparaison de celle du dépôt en question, on devrait fabriquer les filaments destinés à cet usage en les nourrissant beaucoup plus longuement que les autres, quitte à abaisser leur résistance; celle-ci resterait ainsi plus constante, et le dépôt étant plus épais durerait davantage avec une grande ampoule; de telles lampes pourraient être utilisées plus longtemps que les lampes usuelles. »

Recherches de photométrie solaire et stellaire, par **Ch. Fabry.**

Grâce aux travaux de plusieurs générations d'astronomes, on a maintenant des données bien précises sur les rapports des éclats des différentes étoiles ; il s'en faut de beaucoup qu'il en soit de même pour les rapports d'éclats du soleil et des étoiles. Les nombres trouvés par divers observateurs varient dans le rapport de 1 à 10.

La connaissance de ces rapports a cependant un grand intérêt; ils permettent pour les étoiles dont la distance à la terre est connue, de déterminer le rapport entre leurs intensités lumineuses absolues et celle du soleil, et ainsi de classer en quelque sorte le soleil dans la hiérarchie des étoiles.

La lumière solaire ayant une teinte très voisine de celle de la plupart des étoiles, il était rationnel de choisir un étalon photométrique de même teinte, condition qui est loin d'être réalisée avec nos lampes ordinaires. On y est arrivé en faisant traverser à la lumière d'une lampe à incandescence une épaisseur convenable d'une solution ammoniacale de sulfate de cuivre; on arrive, en réglant par tâtonnement l'épaisseur ou la concentration, à donner à la lumière émergente une teinte rigoureusement identique à celle de la lumière solaire.

L'étalon photométrique ainsi modifié est comparé séparément avec la lumière solaire et celle d'une étoile.

Le rapport $\frac{\text{Soleil}}{\text{Wéga}}$ est voisin de 6×10^{10}.

On n'avait aussi que des données très vagues sur les éclairements produits par les astres en fonction de nos étalons photométriques. Ici, la difficulté relative à la différence de teinte reparaît inévitablement; les résultats ne peuvent être garantis qu'à 10 p. 100 près.

M. Fabry a trouvé que l'éclairement produit par le soleil au zénith [1], au niveau de la mer, est d'environ 120 000 lux. Il est naturellement variable avec l'état du ciel, mais moins qu'on ne pourrait croire, pourvu qu'on se borne à observer les jours de *beau temps*. Cet élément est bien moins variable que la *constante solaire* (énergie totale rayonnée, mesurée au calorimètre). Des mesures photométriques suivies, de préférence dans les observatoires de montagne, montreraient avec certitude si le soleil est une *étoile variable*.

---

[1] Ou, ce qui revient sensiblement au même, dans nos climats, en été, à midi.

Digitized by Google

Ces mesures parmettent de relier l'unité photométrique des astronomes à celle des physiciens.

L'éclat d'un astre (expression d'ailleurs impropre) doit se mesurer par l'*éclairement* qu'il produit sur une surface normale à ses rayons; il s'exprime donc en *lux*. D'autre part les astronomes le définissent par sa *grandeur* : les *grandeurs* de deux astres diffèrent d'une unité lorsque le rapport de leurs éclats est 2,5, le plus brillant ayant la plus faible grandeur [1]. D'après cela si un astre a une grandeur g, l'éclairement qu'il produit, exprimé en lux, est donné par une formule de la forme

$$E = A\,(2{,}5)^{-g}$$

A étant une constante. Les expériences précédentes déterminent A, puisque Wéga, qui est de grandeur 0,3 donne un éclairement égal à $\frac{120\,000}{6\ 10^{10}} = 2 \times 10^{-6}$. On en déduit

$$A = 2{,}64 \times 10^{-6}.$$

Finalement

$$E = 2{,}64 \times 10^{-6} \times (2{,}5)^{-g} \qquad \text{ou} \qquad g = -\,13{,}95 - 2{,}5 \log E.$$

Telles sont les relations numériques entre les *grandeurs* et les *lux*.

On peut alors calculer le tableau suivant :

Astre.	Grandeur.	Eclairement en lux.
Soleil	$-26{,}6$	120 000
Lune	$-12{,}2$	0,2
Etoile 1re grandeur	$+1$	$1{,}05 \times 10^{-6}$
Étoile 6e grandeur	$+6$	$9{,}7 \times 10^{-9}$
Étoile 14e grandeur	$+14$	$6{,}6 \times 10^{-12}$

Les plus faibles étoiles visibles à l'œil nu sont celles de sixième grandeur; l'éclairement correspondant est, en chiffres ronds de 10^{-8}. C'est le plus faible éclairement visible à l'œil nu regardant directement la source, lorsque celle-ci est ponctuelle sur fond noir [2], c'est-à-dire dans les conditions les plus favorables. En d'autres termes, *une bougie* cesse d'être visible à l'œil nu à 10 km de distance (abstraction faite de l'absorption atmosphérique, qui est plus forte pour les rayons rasant la terre que pour eux qui viennent des étoiles). Une lunette qui montre les étoiles de quatorzième grandeur permettrait de voir une bougie à 400 km.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

DE LA LIGNE DES INVALIDES A VERSAILLES [3]

IV. — Voie et Matériel roulant

Voie électrique. — Le conducteur de prise de courant est constitué par un rail à double champignon renforcé du dernier type de la Compagnie de l'Ouest, pesant 46,250 kg au mètre courant.

---

[1] L'échelle des grandeurs est indéfinie dans les deux sens, les astres brillants ayant des grandeurs négatives.

[2] Il ne faut pas confondre ce résultat avec la possibilité de distinguer une *surface éclairée* sur un fond noir, comme c'est le cas pour les nébuleuses ou les queues de comètes. La limite de perception s'exprimerait en *lux par degré carré*. On ne connait aucun résultat sur cette limite.

[3] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXVII, p. 341, 28 novembre et p. 369, 5 décembre 1903,

Digitized by Google

Ce rail a été choisi en raison de sa forte section et parce qu'il est laminé en barres de 18 m. Par cette grande longueur, on évite les éclissages trop nombreux qui ont l'inconvénient d'accroître notablement les frais d'installation et la résistance de la ligne. La voie courante est d'ailleurs munie du même rail.

Les supports isolateurs (fig. 20) sont constitués par deux blocs de bois paraffiné. L'un tde ces blocs, de forme parallélipipédique, est fixé par des tirefonds sur l'extrémité d'une raverse allongée à cet effet. L'autre, de forme oblongue, supporte un coussinet dans

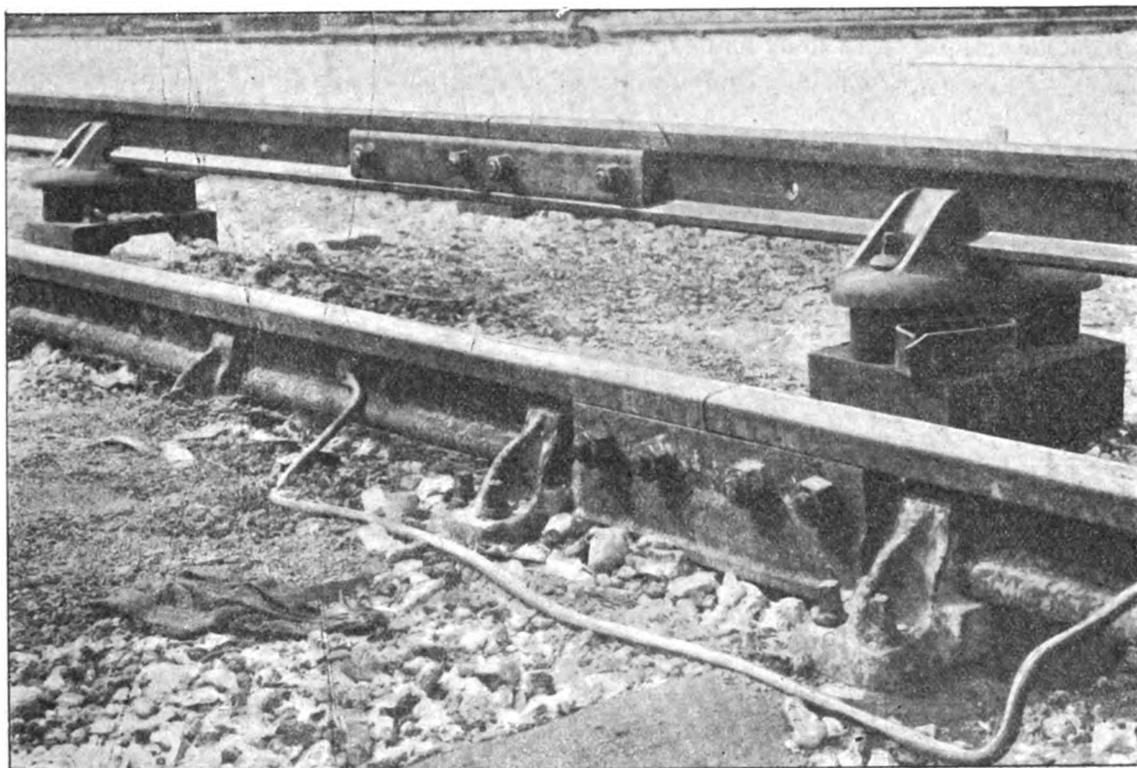


Fig. 20. — Rail conducteur et support isolateur.

lequel le rail conducteur se trouve maintenu par un coin en acier et qui est fixé par des tirefonds vissés dans les isolateurs.

L'ensemble de ce support est d'une solidité à toute épreuve.

La distance entre deux isolateurs successifs est d'environ 3 m.

Les jonctions sont formées par des connecteurs en lames de cuivre, fixés dans les bouts de rails par des têtes massives pénétrant dans des trous où elles sont maintenues par des coins en acier (fig. 21). Chaque joint comporte deux connecteurs de chacun 300 mm² de section. Ils sont couverts par des éclisses en acier qui, en plus de leur rôle mécanique, servent à protéger le cuivre contre la malveillance ou la cupidité.

La voie courante est jonctionnée de la même manière; mais, comme les deux rails servent de retour commun, la section de chacun des deux connecteurs n'est que de 150 mm².

Il aurait d'ailleurs été difficile de loger des conducteurs plus gros sous l'éclisse mécanique que l'on ne peut pas affaiblir.

Le rail conducteur est, en général, placé dans l'entrevoie, à 60 cm de distance horizon-

Digitized by Google

tale du rail intérieur de la voie courante et à 20 cm au-dessus du niveau de ce rail. Dans les aiguillages et les croisements, il se trouve nécessairement interrompu.

On a réduit au minimum la longueur des interruptions en reportant, lorsqu'il était possible, le conducteur à l'extérieur de la voie, en face des croisements.

A chaque bout libre du rail conducteur, ce dernier est recourbé de manière à présenter un plan incliné que les frotteurs viennent aborder sans choc (fig. 22).

Tous les 500 m, est disposé un appareil qui permet d'isoler une section de voie électrique pour faire des réparations. A cet effet, au droit dudit appareil, chacun des deux rails conducteurs est interrompu électriquement au moyen d'une éclisse en gaïac, remplaçant l'éclisse mécanique entre deux bouts de rail. De part et d'autre de ces coupures partent des câbles aboutissant à des interrupteurs reliés d'autre part à un plot commun, ainsi que le représente le schéma figure 23. On voit que l'on peut, de cette manière, couper une section de l'un des rails conducteurs en laissant le courant passer par celui de l'autre voie.

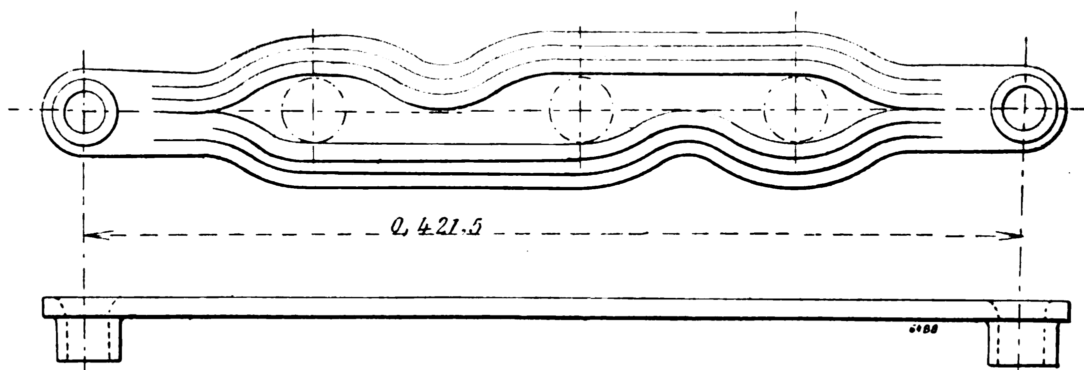


Fig. 21. — Connexion du rail conducteur.

De plus, en service normal, l'appareil sert à jonctionner entre eux les deux rails conducteurs, de manière à utiliser le mieux possible leur section pour le passage du courant.

Les quatre interrupteurs d'un sectionnement sont enfermés dans une boîte en fonte, placée dans le ballast. Ces sont des interrupteurs à rupture brusque et à cornes, qui permettent, par suite, de couper le conducteur en service. On les manœuvre au moyen de pédales qui font saillie à l'extérieur de la boîte. Le principe du sectionnement adopté sur la ligne des Invalides à Versailles est excellent.

Les différents tronçons du rail conducteur dans les croisements sont réunis entre eux par des câbles armés noyés dans le ballast et protégés par un treillage métallique. C'est de la même manière que la voie électrique est reliée aux sous-stations et aux boîtes de sectionnement.

Dans les stations et, en général, dans tous les points où le personnel peut avoir à traverser fréquemment les voies, le rail conducteur est pourvu de protecteurs. Ces protecteurs consistent en deux planches inclinées, placées de part et d'autre du conducteur. dont le rebord supérieur dépasse le niveau du rail. Ces deux planches laissent entre elles un espace suffisant pour permettre le libre jeu des frotteurs.

De distance en distance, des bouquets de 5 lampes en série branchés entre le conducteur et les rails de retour servent à signaler la présence du courant dans la voie.

Pour l'établissement de la voie électrique on avait installé aux Moulineaux un chantier provisoire qui servait à la fois de dépôt de matériel et d'atelier pour la confection des sup-

Digitized by Google

ports isolateurs. Le paraffinage s'effectuait dans de grandes cuves chauffées à la vapeur. Un chantier volant servait à la pose et au perçage sur place des rails pour le montage des connecteurs. Ce chantier comprenait un fourgon renfermant un groupe électrogène à vapeur pour alimenter les perceuses électriques, et un wagon plat avec dispositifs spéciaux pour le transport et le déchargement des rails. Une locomotive remorquait ce chantier et fournissait la vapeur au groupe électrogène.

Traction. — Le projet primitif comportait uniquement l'emploi de locomoteurs destinés à remorquer des trains de composition quelconque. Dans la suite, les trains automoteurs dits à unités multiples, ayant reçu en Amérique quelques applications suivies de succès, il

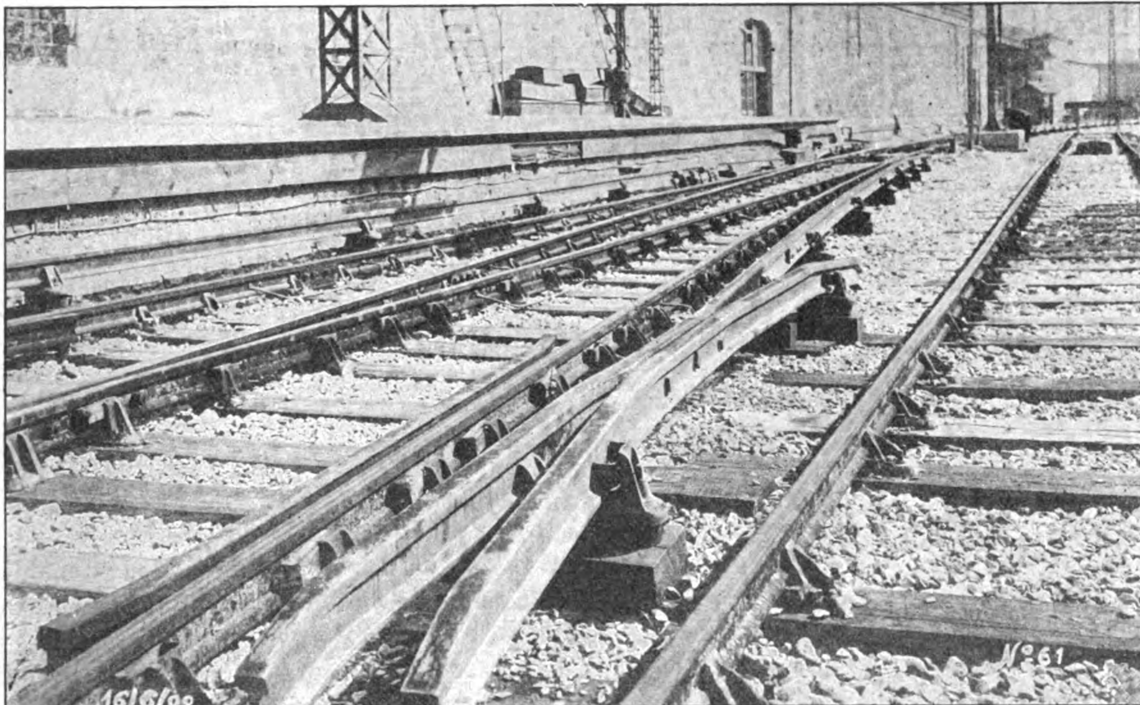


Fig. 22. — Croisement du rail conducteur dans la station du Champ-de-Mars.

a paru intéressant à la Compagnie de mettre à l'essai deux des systèmes existants et c'est ainsi qu'un train équipé avec des appareils Sprague et un autre muni d'appareils Thomson-Houston ont été mis en service sur la ligne, concurremment avec les locomoteurs. Entre temps, pour assurer le service entre le Champ-de-Mars et les Invalides au début de l'Exposition, on avait dû équiper à la hâte des trains automoteurs légers. La ligne des Invalides à Versailles présente donc au point de vue de la traction électrique un champ d'expériences très intéressant. Nous allons décrire les différents modes de traction qui se trouvent ainsi inopinément placés en parallèle, sans entrer dans les détails qui intéressent plus spécialement les constructeurs et en nous attachant surtout aux questions de principe, relatives d'une part aux particularités électriques ou mécaniques des différents systèmes et, d'autre part, aux dispositions générales concernant plus particulièrement l'exploitation.

Locomoteurs électriques. — Les locomoteurs (fig. 24) sont capables de développer un effort au crochet d'attelage de 2 400 kg à la vitesse de 50 km à l'heure, et de 6 000 kg au démarrage. Ils reposent sur 2 bogies à 2 essieux. Tous les essieux sont moteurs. La

****

Digitized by Google

caisse comporte 2 cabines de manœuvre séparées par un fourgon pouvant contenir 3 tonnes de bagages. Les dimensions générales de ces locomoteurs sont les suivantes :

Longueur totale entre tampons	13 m.
Distance d'axe en axe des bogies	7 m.
Empattement d'un bogie	2,600 m.
Diamètre des roues	1,310 m.
Poids à vide	50 tonnes.

La caisse est en bois et présente les dispositions générales d'un fourgon. Les bogies sont en tôle d'acier. La traverse pivot n'a pas de suspension spéciale. Le bogie est suspendu par des ressorts à lames reposant sur les boîtes à huile.

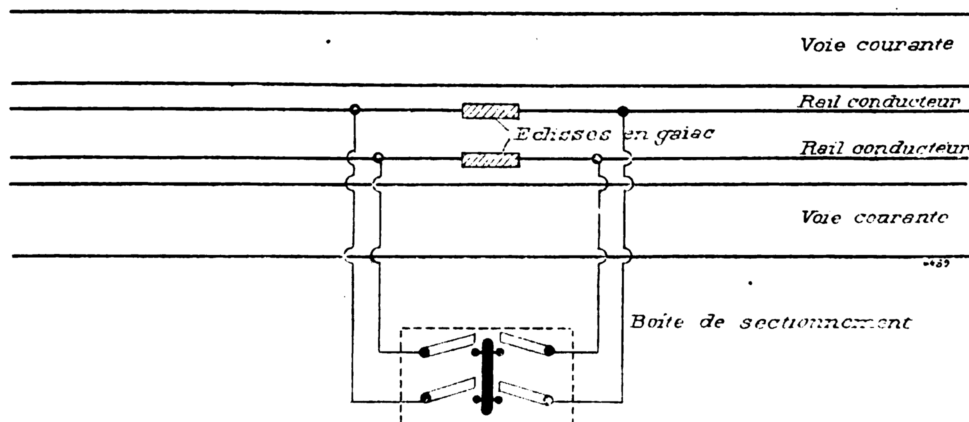


Fig. 23. — Voie électrique. Schéma du sectionnement.

Moteurs. — Les moteurs sont tous à arbre creux et entraînement élastique. 4 locomoteurs sont pourvus de moteurs à engrenage, les 6 autres de moteurs à action directe.

Le principe du système d'entraînement est le suivant :

Le moteur est fixé rigidement au châssis ; l'arbre creux, en acier, entraîné soit directement par l'induit, soit par l'intermédiaire d'un harnais d'engrenages, tourne dans des paliers solidaires de la carcasse du moteur. Il porte à une de ses extrémités un plateau triangulaire venu de fonderie. A chacun des 3 sommets de ce plateau viennent s'attacher 2 ressorts à boudin. Les autres extrémités de ces ressorts sont fixées à 3 points de la roue placée en regard du plateau, de telle sorte que l'ensemble forme une figure hexagonale. Au repos les ressorts sont tendus de telle manière qu'il n'y en ait pas de comprimés lorsque sous l'effort du moteur l'arbre creux se déplace par rapport à l'essieu. Le diamètre intérieur de l'arbre creux est de 270 mm, laissant un jeu total d'environ 100 mm pour le déplacement du moteur par rapport à l'essieu. Ce système d'entraînement donne de bons résultats ; il fonctionne bien à toutes les vitesses ; il a seulement fallu accroître la force des ressorts qui avaient été pris trop élastiques au début. Le dernier type employé ne donne plus jamais lieu à des ruptures.

L'emploi de l'arbre creux et de l'entraînement élastique avec les moteurs à entraînement direct est absolument indispensable. Il ne peut pas nuire avec les moteurs puissants à engrenages, bien que l'on puisse dans ce cas s'en passer, à la condition d'adopter un mode de suspension du moteur plus efficace que celui que l'on adopte généralement pour les tramways. L'avantage de l'arbre creux employé avec les moteurs à engrenages est que le moteur

Digitized by Google

peut être fixé rigidement au châssis, ce qui évite de multiplier inutilement les ressorts de suspension.

Les moteurs à engrenages ont été fournis par la Compagnie Thomson-Houston et construits dans les ateliers Postel-Vinay. La carcasse de ces moteurs est d'une seule pièce d'acier coulé avec des prolongements venus de fonderie supportant les coussinets de l'arbre creux. Les paliers d'induit sont supportés par deux flasques rapportés de chaque côté de la carcasse. Le rapport de réduction des engrenages est de 2,575.

Les moteurs à action directe ont été fournis moitié par la Société Westinghouse, moitié par la maison Brown-Boveri. Ces 2 types présentent des dispositions générales analogues.

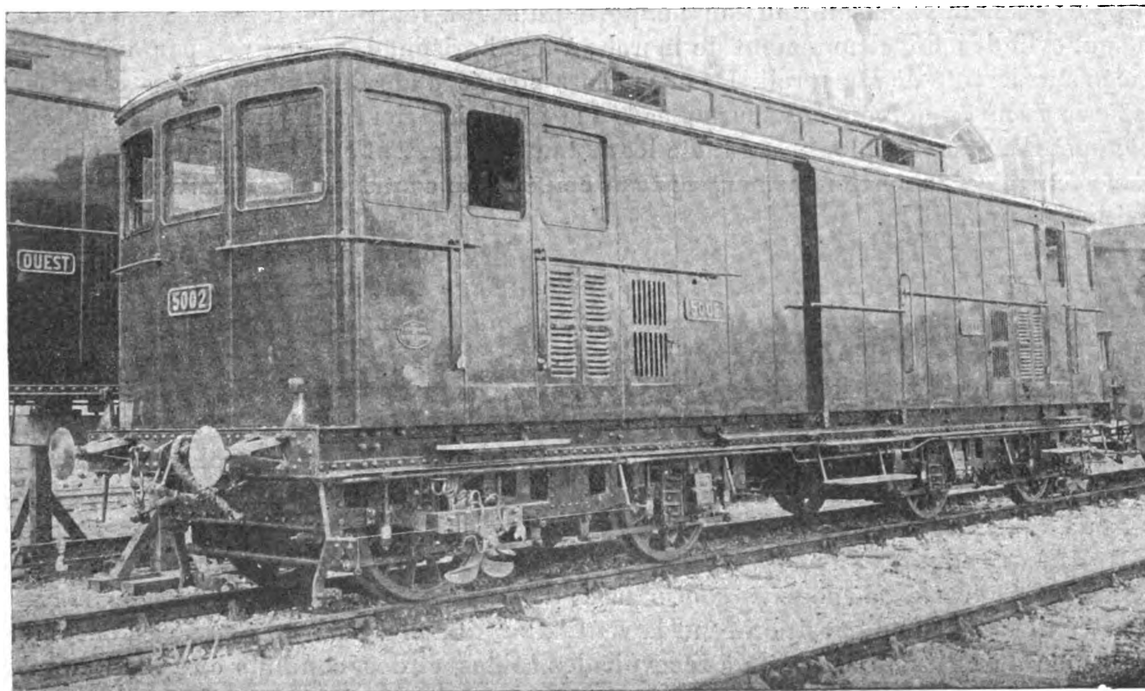


Fig. 24. — Locomoteur électrique.

La carcasse en acier est en deux pièces, raccordées suivant un plan horizontal. En raison de la place occupée par l'arbre creux, qui oblige à donner à l'induit un grand diamètre et par l'entraînement élastique qui ne permet pas au moteur d'occuper tout l'espace laissé libre entre les roues, on est en droit de considérer que ces moteurs sont les plus puissants que l'on puisse loger sur un essieu dans les conditions de construction et de fonctionnement des locomoteurs de la Compagnie de l'Ouest.

Appareillage. — Les locomoteurs à engrenages sont équipés en ce qui concerne les contrôleurs et les appareils électriques accessoires avec du matériel de la Compagnie Thomson-Houston ; ceux à action directe sont munis de matériel Westinghouse.

Dans tous les locomoteurs les moteurs peuvent être couplés soit en série par groupes de 2 moteurs en parallèle soit tous les quatre en parallèle. Le mode de contrôle comportant comme première marche les 4 moteurs en série ne paraît pas avoir la faveur des constructeurs. Cette disposition permet de réduire l'importance des résistances de démarrage, mais elle complique le contrôleur et rend sa manœuvre un peu plus délicate puisqu'il faut

Digitized by Google

effectuer 3 couplages différents des moteurs. D'autre part on connaît l'inconvénient inhérent au couplage en série, qui consiste en ce que, lorsque les essieux ne sont pas accouplés mécaniquement, si l'un d'eux commence à patiner, le moteur qui l'actionne absorbe toute la différence de potentiel et s'emballe. Cet accident est plus à craindre avec 4 moteurs en série qu'avec la disposition mixte parce que, dans ce dernier cas, on peut faire le couplage série parallèle pour chaque bogie. Les moteurs placés en série se trouvent ainsi dans des conditions très sensiblement identiques d'effort et d'adhérence. De plus, les moteurs étant couplés 2 à 2 en parallèle, pour que l'inconvénient dont il est question puisse se manifester, il devrait y avoir patinage pour un essieu de chaque bogie, ce qui est tout à fait anormal.

Les dispositions des 2 types de contrôleurs employés sont très notablement différentes.

Le contrôleur Thomson-Houston comporte un seul cylindre de réglage à axe vertical et un seul cylindre de changement de marche à axe horizontal manœuvré par une poignée placée sur le côté de l'appareil. La mise hors circuit d'un des moteurs en cas d'avarie s'opère au moyen de commutateurs placés à la partie inférieure du contrôleur et qui ont en outre pour effet de coupler en parallèle les moteurs qui restent en état de fonctionnement, en même temps qu'un enclenchement spécial empêche le contrôleur de pouvoir passer aux positions de parallèle.

La variation de l'intensité s'obtient par le couplage en quantité, d'un nombre plus ou moins grand de résistances. Les bobines de soufflage sont intercalées dans les circuits allant à ces différentes résistances, de telle sorte que l'intensité du champ qu'elles créent est proportionnée à celle du courant à rompre.

Le contrôleur Westinghouse est constitué par 2 contrôleurs série parallèle à 2 moteurs accouplés mécaniquement. La mise hors circuit d'un des moteurs s'effectue en immobilisant la portion correspondante du cylindre inverseur. Les touches du contrôleur relatives aux positions de marche en série sont alors inutilisées.

Nous n'insistons pas sur les enclenchements des poignées de manœuvre des 2 types de contrôleur qui sont les mêmes en principe que ceux des contrôleurs de tramways.

Les résistances de démarrage sont placées dans des coffres de chaque côté de la cabine du mécanicien. Cette disposition rend la ventilation difficile, mais elle évite d'encombrer le dessous du châssis qui a déjà à recevoir des câbles et des conduits en grand nombre.

Chacun des contrôleurs d'un même locomoteur est desservi par un groupe de résistances différentes. Pendant une série de voyages aller et retour, les radiateurs ne sont ainsi en service que la moitié du temps, ce qui en facilite le refroidissement.

L'équipement électrique d'un locomoteur est complété par un disjoncteur et un compteur placés dans la cabine du mécanicien, et par un parafoudre.

Le courant est amené aux contrôleurs par 4 frotteurs placés de part et d'autre des bogies. Ces frotteurs, étudiés avec soin par la Société de Locomotion Electrique, comportent 2 ailes en acier appuyées sur le rail par des ressorts.

L'air comprimé nécessaire à la manœuvre des freins et à la commande du sifflet réglementaire est fourni par un compresseur électrique Christeenn avec régulateur automatique.

Ces locomoteurs font depuis trois ans un service très régulier.

Trains automoteurs. — Nous n'avons pas l'intention de décrire dans leurs détails les systèmes de trains automoteurs à unités multiples Sprague et Thomson-Houston, qui ont déjà fait l'objet de nombreux articles. Mais il nous semble que, par suite de la présence simultanée de plusieurs trains automoteurs de systèmes différents sur la ligne des Invali-

Digitized by Google

des à Versailles, il n'est pas hors de propos d'indiquer ici le principe général de ce mode de traction.

Dans les débuts de la traction électrique sur les lignes de chemins de fer, on a tout naturellement copié les dispositions de la traction à vapeur, c'est-à-dire que l'on a attelé à des trains quelconques des locomotives électriques. Mais on n'a pas tardé à s'apercevoir que l'on pouvait, au moins dans bien des cas, tirer un meilleur parti du procédé nouveau de traction en utilisant la facilité de transmission de l'énergie électrique pour placer les moteurs sur une ou plusieurs des voitures mêmes du train. On peut ainsi en proportionnant la puissance motrice au tonnage remorqué, utiliser beaucoup mieux l'adhérence totale du convoi sans accroître autant le poids mort qu'en employant une locomotive. Aussi les trains automoteurs sont-ils employés presque exclusivement sur les métropolitains qui exigent des démarrages rapides.

Il ne faudrait pas cependant exagérer l'infériorité de la locomotive électrique au point de vue de l'adhérence. Les locomoteurs de l'Ouest pèsent environ 52 tonnes, soit 10,5 tonnes par essieu. L'effort de 1 500 kg par moteur, prévu et généralement réalisé en pratique, pour le démarrage, n'occasionnera donc pour ainsi dire jamais de patinage, puisqu'il correspond à un coefficient d'adhérence de moins de 15 p. 100, valeur au-dessous de laquelle on ne descend que dans des cas très rares de neige et de verglas. Remarquons d'ailleurs en passant, que pour une adhérence égale, une locomotive à vapeur par suite de l'irrégularité de l'effort moteur dans un tour, a plus de tendance à patiner qu'une locomotive électrique. Il n'en est pas moins vrai que le train automoteur électrique est, de tous les procédés de traction, celui qui permet, d'une part, de remonter les plus fortes rampes par adhérence simple et, d'autre part, d'effectuer les démarrages les plus rapides. L'emploi du train automoteur est donc surtout indiqué pour les métropolitains et les chemins de fer en pays accidenté pouvant comporter des déclivités de 80 et même 100 mm par mètre. En dehors de ces cas spéciaux, bien définis, les 2 procédés de traction électrique peuvent se partager les applications suivant les convenances particulières de l'exploitation à réaliser.

C'est dans cet ordre d'idées qu'il faut chercher l'origine des systèmes de traction dits à unités automotrices multiples, caractérisés par l'emploi de rames de voitures, pouvant être utilisées isolément ou réunies de telle manière que l'on puisse disposer de trains de tonnage variable, suivant les besoins du service, tout en conservant la proportionnalité entre l'effort moteur et le tonnage. En réalité, on a commencé par faire des unités multiples sans le savoir, le jour où, pour constituer des trains pouvant marcher dans les deux sens, sans exiger de manœuvres aux extrémités du parcours, on a encadré une rame de voitures ordinaires entre deux automotrices.

Mais ce cas particulier n'est pas directement susceptible d'extension, et il fallait imaginer des procédés permettant de porter à plus de deux le nombre des unités. Nous allons chercher à dégager les principes généraux de ces procédés :

Le problème à résoudre consiste à effectuer à distance le changement de marche, le couplage-série parallèle s'il y a lieu et la régulation du courant. Cela peut se faire directement comme, par exemple, dans les trains légers qui ont circulé pendant l'Exposition entre les Invalides et le Champ-de-Mars. Ces trains comprenaient deux voitures motrices placées aux extrémités et encadrant une ou deux voitures remorquées. Chaque voiture motrice portait 2 moteurs de 30 chevaux pouvant être couplés en série et en parallèle, un contrôleur à 4 moteurs et les résistances de démarrage correspondantes; 22 fils, servant les uns aux connexions des moteurs des contrôleurs et des résistances, les autres à l'alimentation des compresseurs d'air et à l'éclairage, couraient d'un bout à l'autre du train. Ce système a très

Digitized by Google

bien fonctionné, mais on comprend sans peine qu'il ne saurait être étendu à un nombre supérieur à 2 de voitures automotrices, ni à des moteurs plus puissants qui exigeraient une câblerie trop encombrante. On simplifie déjà considérablement les connexions en effectuant le changement de marche et le couplage-série parallèle à distance au moyen de commutateurs mus par des électros commandés de chaque poste de manœuvre. C'est un dispositif de ce genre, moins complet toutefois, qui est employé par le Métropolitain de Paris. Mais chaque poste de manœuvre doit comporter dans ce système un contrôleur et des résistances correspondant à la puissance totale des moteurs du train. Cela ne constitue pas une sujétion gênante pour l'application qui en a été faite au Métropolitain, où il n'y a besoin que d'un poste de conduite par demi-train. Il n'en serait pas de même pour une ligne sans raquette aux extrémités; car, dans ce cas, pour 2 unités motrices seulement comportant chacune une seule automotrice, il faudrait 4 postes de manœuvre et, par suite, on serait amené à reproduire 4 fois l'appareil de démarrage du train complet. C'est pour échapper à cette sujétion que l'on a imaginé de commander également à distance les démarreurs de chaque voiture motrice ; 2 principes généraux peuvent être adoptés dans ce but :

On peut, en premier lieu, employer des relais pour introduire ou enlever les résistances, comme cela se pratique dans le système Thomson-Houston. Ou bien on peut commander le contrôleur de chaque voiture motrice par un servo-moteur, lequel peut être électrique, comme dans le système Sprague, ou bien à air comprimé comme dans le système Auvert.

Dans ces derniers systèmes le courant principal alimentant les moteurs n'a pas à circuler entre les voitures. Les intercommunications électriques se réduisent à quelques fils de faible section. Il ne faudrait pas croire d'ailleurs qu'il y ait une difficulté quelconque à connecter entre les voitures des câbles de forte section, lorsque le nombre de ces câbles se réduit à un ou deux. Dans les trains à unités multiples de la Compagnie de l'Ouest, on a jugé prudent pour éviter les interruptions de courant au passage de certains croisements de relier entre eux les frotteurs des différentes voitures motrices. Les accouplements disposés dans ce but sont très simples, très pratiques, et ne donnent lieu à aucun incident.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que la régulation du courant s'effectuait au moyen de résistances ; les mêmes considérations s'appliqueraient au cas où l'on emploierait des transformateurs permettant de fournir aux moteurs un courant à tension variable sans perdre d'énergie dans des rhéostats, comme dans le système Ward Léonard par exemple.

Les différents systèmes que nous avons passés en revue n'impliquent *a priori* aucune automaticité. Toutefois lorsque l'on emploie des servo-moteurs pour actionner les contrôleurs, l'automaticité se présente tout naturellement en vue de simplifier les connexions. C'est, croyons-nous, la véritable raison pour laquelle le système Sprague est automatique, alors que le système Thomson-Houston ne l'est pas. Cette différence de principes n'a pas de conséquences au point de vue de la marche régulière des appareils qui, dans l'un et l'autre systèmes, dépend à peu près exclusivement du bon fonctionnement d'un certain nombre de relais.

Le train Sprague de la Compagnie de l'Ouest comporte en tout 9 voitures du type à plates-formes des lignes de banlieue. 3 de ces voitures, les 2 extrêmes et celle du milieu, sont automotrices, les autres ne portent pas de moteurs. Il y a 2 postes de manœuvre pour chaque voiture automotrice ; ceux de ces postes qui se trouvent à l'arrière des voitures automotrices extrêmes sont dits de démonstration ; ils ne comprennent qu'un combinateur et et un robinet de frein Westinghouse, ce qui peut suffire d'ailleurs pour la conduite du train.

Digitized by Google

Les automotrices sont montées sur 2 bogies. Un de ces 2 bogies porte 2 moteurs GE 55 de 150 chevaux, l'autre n'a que des essieux porteurs.

Le contrôleur et le commutateur sont placés sous une banquette de la voiture, les résistances de démarrage dans un lanterneau au-dessus du toit, le compresseur d'air sous la caisse.

Le train Thomson-Houston comprend 8 voitures à plates-formes du même type que celles du train Sprague ; les 2 extrêmes sont automotrices avec 2 bogies, pourvus chacun de 2 moteurs GE 51 de 80 chevaux. Les résistances et les relais sont placés sous les caisses. Ces deux trains sont éclairés et chauffés électriquement.

Il convient de remarquer que le matériel roulant employé dans ces 2 trains n'a pas été créé spécialement pour l'application de la traction électrique, et que l'on ne doit pas, par suite, considérer les dispositions employées comme étant celles qui s'adaptent le mieux aux trains automoteurs. Si l'on avait à établir un matériel spécial dans ce but, il serait indispensable de faire des voitures plus lourdes, et dans lesquelles les appareils électriques seraient placés de manière à être le plus possible séparés des parties du véhicule réservées aux voyageurs, ou au service d'exploitation en général.

Tel qu'il est, le matériel à unités multiples de la Compagnie de l'Ouest fait un service très régulier. Les demi-trains servent pendant la semaine et les trains complets les dimanches et jours de fêtes. Ce mode de traction paraît appelé à rendre des services sur les lignes de banlieue, qui ont des heures et des jours d'affluence, nécessitant l'accroissement du nombre des voitures des trains, tout en maintenant l'horaire, généralement très serré.

(*A suivre*)

F. GUERY.

NOTES SUR LES MOTEURS MONOPHASÉS A COLLECTEURS [1]

III. — THÉORIE DU MOTEUR A RÉPULSION

Remarques préliminaires. — D'après ce qui précède, les inconvénients du moteur-série proviennent, en grande partie, de la self-induction de ce moteur; le moteur à répulsion a pour objet de réduire cette self-induction, en substituant, dans l'induit, au courant même de l'inducteur un courant induit qui lui est, en partie, opposé, et qui produit en outre un champ transversal. En effet quand la ligne des balais (supposée ici dirigée suivant l'axe du champ produit par l'induit) est oblique, l'induit se trouve à la fois coupé par le champ inducteur et capable de produire un champ composant partiel (réaction directe) opposé à à ce champ inducteur, et, un autre champ composant perpendiculaire (réaction transversale) qui se ferme sans passer par l'inducteur. A ce point de vue le moteur à réaction n'est pas autre chose qu'un moteur monophasé à décomposition de phases dans lequel on produit cette décomposition de phases par l'induit lui-même au lieu d'avoir recours, comme d'ordinaire, à deux enroulements de stator alimentés par deux circuits dérivés, de self-inductions différentes.

Il est facile de se rendre compte, à ce point de vue, de l'effet de décalage des balais : plus ils sont décalés de la ligne neutre ordinaire (définie comme dans une machine Gramme à courant continu) (fig. 16), plus les spires sont traversées directement par le flux de l'induc-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, du 28 novembre, p. 321.

Digitized by Google

teur et tendent par conséquent à démagnétiser celui-ci, et à diminuer la self-induction totale; mais moins le couple produit par ces courants peut-être intense. Au contraire, moins les balais sont décalés, moins fort est le courant induit statiquement dans le rotor, et plus grand est le courant induit dynamiquement par la rotation, et le couple produit pour une intensité de courant donnée, (sauf l'effet du décalage des phases).

Pour l'étude de ce moteur il ne faut pas perdre de vue qu'il y a toujours deux espèces de décalage à considérer (que l'on a quelquefois confondus à tort) : d'une part un décalage des axes des champs inducteur et induit *dans l'espace*, réglé *géométriquement* par la position du diamètre de commutation; d'autre part un *décalage* des courants induits *dans le temps* par rapport aux forces électromotrices qui les produisent, lequel est réglé par les conditions électriques et magnétiques des circuits. Pour éviter toute confusion, dans les épures que nous donnerons plus loin, nous ne représenterons que *le décalage dans le temps*, et laisserons de côté (sauf pour la correction du couple) le décalage dans l'espace.

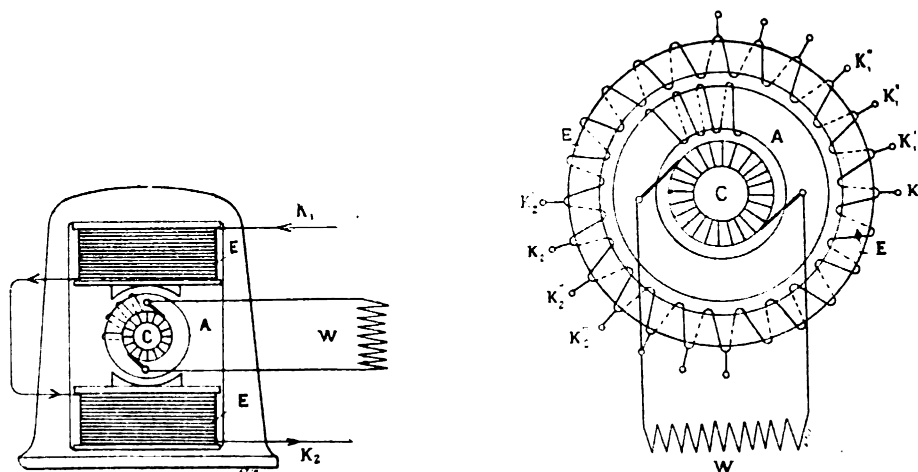


Fig. 16 et 17. — Moteurs à réaction des deux types à pôles (fig. 16) ou à stator continu (fig. 17) muni d'une résistance pour le réglage.

La considération du décalage dans le temps nous amènera à introduire les self-inductions L_1 et L_2 de l'inducteur et de l'induit. Nous considérons sous ces noms les self-inductions *totales* comprenant les effets des ampères-tours sur les circuits magnétiques complets. En ce qui concerne celle de l'induit, qui correspond au flux de fermeture de l'induit sur lui-même, elle peut être traitée d'une manière assez différente, et varie suivant des lois différentes, suivant que l'inducteur est à pôles séparés (fig. 16), ou à bobinage continu comme le stator des moteurs asynchrones (fig. 17). Ces deux formes sont depuis longtemps connues concurremment, comme nous l'avons rappelé plus haut, et les deux figures ci-jointes reproduisent celle du brevet suisse de 1893 de la Société Oerlikon. Mais comme la construction la plus pratique parait être celle du moteur bobiné en stator continu, c'est à celle-ci que s'appliqueront de préférence nos formules, et nous y gagnons de simplifier notablement le problème, en attribuant à l'induit une self-induction *totale constante*, quel que soit le calage des balais; le flux propre de l'induit sera toujours dirigé par hypothèse suivant le diamètre de commutation, comme dans une machine à courant continu à anneau Gramme bipolaire. Il résulte de la symétrie de la réaction par rapport à ce diamètre que le flux propre de l'induit n'aura aucun rôle dans la production de la force électromotrice dynami-

Digitized by Google

que due à la rotation de l'induit dans le champ inducteur, et que celle-ci proviendra uniquement du champ de l'inducteur.

Comme dans tous les moteurs d'induction, et plus que dans aucun autre, il y aura d'importantes fuites magnétiques ; même dans la position où les champs inducteur et induit concordent, ces fuites seront notables ; elles deviendront *totales* quand les champs sont dirigés perpendiculairement l'un à l'autre (balais calés à la ligne neutre) ; dans l'intervalle de ces deux calages extrêmes elles seront variables. Dans tous les cas, nous les définirons de la manière expliquée plus haut (1), par un coefficient σ qui dépend du rapport du carré du coefficient d'induction mutuel M dans le calage considéré au produit des self-inductions :

$$1-\sigma=\frac{M^2}{L_1 L_2}$$

Nous appellerons M_0 et σ_0 la valeur de M et σ correspondant au décalage $\frac{\pi}{2}$ (champs en coïncidence de direction).

Equations des moteurs à répulsion alimentés à potentiel constant. — La théorie de ces moteurs se traite d'une façon analogue à celle des transformateurs à circuit secondaire inductif. D'abord nous supposerons, comme nous l'avons dit plus haut, qu'il s'agit d'un inducteur continu et d'un induit complètement utilisé entre balais. Si on suppose l'inducteur alimenté à potentiel constant, et si on néglige la résistance primaire R_1 devant la réactance L_1 qui est très grande, le flux résultant Φ_0 dans le circuit inducteur sera sensiblement constant puisqu'il doit faire équilibre par induction à la tension U_1 aux bornes. Les ampères-tours efficaces qui le produisent sont la résultante des ampères-tours inducteurs $N_1 I_1$ et d'ampères-tours produisant dans le circuit magnétique principal un effet équivalent à la réaction directe du courant induit I_2.

Or le courant induit I_2 produit la même force contre électromotrice e_2 dans le stator qu'un courant inducteur.

$$\frac{K_2 N_2}{2 \nu_1 N_1} I_2 \sin\beta = \frac{M_0 \sin\beta}{L_1} I_2$$

qui circulerait dans le circuit inducteur de N_1 fils, en appelant ν_1 le coefficient de fuite de l'inducteur, et K_2 le coefficient de réduction dû au chevauchement des spires de l'induit.

Si donc nous appelons I_0 un courant inducteur efficace constant capable de produire le flux résultant constant Φ_0, correspondant à la tension U_1 aux bornes, ce courant I_0 sera la résultante vectorielle de I_1 et d'un *courant* primaire (à travers les N_1 fils spires) *équivalent* et en phase avec I_2 (qui traverse $\frac{N_2}{4}$ spires), ayant pour valeur efficace

$$\frac{K_2 N_2}{2\nu_1 N_1} I_2 \sin\beta = \frac{M_0 I_2}{L_1} \sin\beta.$$

Pour connaître en grandeur et en phase le courant primaire I_1, il suffit donc de déterminer d'abord en grandeur et phase le courant secondaire I_2 en fonction de I_1.

Dans ce but, reportons-nous à l'équation générale de la force électromotrice secondaire (p. 326) dans le cas de balais décalés d'un angle β en arrière de la rotation (décalage nécessaire comme on le voit aisément) (2) ; la force électromotrice secondaire E_2 entre les balais

(1) Voir page 331.

(2) En effet les pôles induits par induction statique sont de même signe que les pôles inducteurs les plus voisins, et sont par conséquent *repoussés* par eux.

Digitized by Google

sera la résultante des deux vecteurs, calculés précédemment, induits par le flux Φ_1 dû au courant I_1 seul ; à savoir :

$$\mathcal{E}_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}} N_2 \omega \Phi_1 \cos\beta$$

en phase avec le flux Φ_1 et le courant I_1, et

$$\mathcal{E}_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2}} N_2 \Omega \Phi_1 \sin\beta$$

en quadrature en arrière (fig. 18).

Soit R_2 la résistance totale du circuit induit et L_2 sa self-inductance totale, supposée constante, d'après ce qui précède; nous poserons comme d'habitude

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \Omega^2 L_2^2} \qquad \text{(impédance)}$$

$$\frac{\Omega L_2}{R_2} = \operatorname{tg}\gamma \qquad \text{(décalage)}$$

Le courant I_2 sera la résultante de deux composantes rectangulaires i_1 et i_2 décalées respectivement de l'angle γ par rapport à ε_1 et ε_2 et ayant pour valeurs efficaces :

$$i_1 = \frac{N_2 \omega \Phi_1 \cos\beta}{2\pi Z_2 \sqrt{2}}$$

courant induit dynamique décalé de γ en arrière de I_1 et produisant une action *magnétisante*, c'est-à-dire concordante avec l'effet de I_1 (¹); et

$$i_2 = \frac{N_2 \Omega \Phi_1 \sin\beta}{2\pi Z_2 \sqrt{2}},$$

courant induit statique, décalée de $\frac{\pi}{2} + \gamma$ en arrière de I_1, et produisant une action *démagnétisante* (²).

La résultante est

$$I_2 = \frac{N_2 \Phi_0}{2\pi Z_2 \sqrt{2}} \sqrt{\omega^2 \cos^2\beta + \Omega^2 \sin^2\beta}$$

Par rapport aux axes I_1 et Oe_1, I_2 présente donc les deux composantes :

$$X_1 = \frac{N_2 \Phi_1}{2\pi Z_2 \sqrt{2}} [\omega \cos\beta \cos\gamma - \Omega \sin\beta \sin\gamma]$$

$$X_2 = \frac{N_2 \Phi_1}{2\pi Z \sqrt{2}} [\Omega \sin\beta \cos\gamma + \omega \cos\beta \sin\gamma]$$

Z_2 comprend non seulement l'impédance propre considérable de l'induit, mais aussi toutes les impédances additionnelles qu'on peut ajouter entre balais à l'extérieur de l'induit; aussi le décalage γ est-il réglable par l'introduction de résistances mortes, de self-inductions ou de capacités, comme le rappellent les figures 16 et 17 ci-dessus.

(¹) D'ailleurs le courant dynamique jouit des propriétés du courant induit de toute dynamo à collecteur, dont l'induit débite du courant au dehors; on sait que la réaction d'induit est magnétisante quand les balais sont décalés en arrière comme on le suppose ici. Le décalage γ diminue cette réaction naturellement.

(²) D'ailleurs les courants secondaires de tout transformateur donnent toujours un effet opposé à celui des ampères-tours primaires.

Digitized by Google

Le flux Φ_1 produit dans l'induit par I_1 est relié par la relation (1)

$$\Phi_1 = \frac{4\pi N_1 I_1 \sqrt{2}}{\mathcal{R}} = \frac{M_0 \sin \beta}{N_2} I_1 \sqrt{2}$$

D'où en substituant

$$i_1 = \frac{M_0 \Omega I_1 \cos \beta}{Z_2}$$

$$i_2 = \frac{M_0 \omega I_1 \sin \beta}{Z_2}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \times \frac{\omega}{\Omega}$$

$$I_2 = \frac{M_0 I_1}{Z_2} \sqrt{\omega^2 \cos^2\beta + \Omega^2 \sin^2\beta}$$

$$X_1 = \frac{M_0 I_1}{Z_2} (\omega \cos\beta \cos\gamma - \Omega \sin\beta \sin\gamma)$$

$$X_2 = \frac{M_0 I_1}{Z_2} (\Omega \sin\beta \cos\gamma + \omega \cos\beta \sin\gamma)$$

Une composante de courant primaire en phase avec la tension aux bornes I_1 est d'autre part consommée par les effets parasites : hystérésis, courants de Foucault ; nous les négligeons ici.

D'après ce qu'on a vu plus haut, la tension aux bornes U_1 (fig. 19) est la résultante de la force électromotrice de self-induction (2) de l'inducteur e_1 et d'une force électromotrice d'induction mutuelle e_2, décalée de $\frac{\pi}{2}$ en avance du courant I_1.

Nous pouvons maintenant déduire la valeur du courant I_1 de la tension aux bornes U_1 en calculant celle-ci comme la résultante de deux vecteurs produits par les chutes ohmiques dans le primaire et par les effets d'induction.

Comme nous connaissons les deux composantes de I_2 en phase et en quadrature par rapport à I_1, nous formerons seulement deux vecteurs, l'un de même phase que I_1, l'autre perpendiculaire. Le premier comprendra les deux termes suivants :

$$R_1 I_1 + \Omega M_0 \sin\beta X_2$$

car la composante X_2 de I_2 est décalée de $\frac{\pi}{2}$ en arrière de I_1 et donne donc une force électromotrice induite en phase avec I_1.

La seconde composante perpendiculaire à I_1 et dans le sens de l'avance s'obtient en additionnant les 2 vecteurs décalés de même

$$\Omega (L_1 I_1 + M_0 \sin\beta X_1)$$

(1) L'inductance mutuelle de l'inducteur et de l'induit a en effet pour valeur

$$M_0 = \frac{4\pi N_1}{\mathcal{R}} \frac{N_2}{2} \times \frac{2}{\pi}.$$

(2) La force électromotrice primaire induite dans le stator par le courant I_1 est décalée de $\frac{\pi}{2}$ en avance de ce courant et égale au produit de son intensité efficace par la réactance primaire

$$E_1 = \Omega L_1 I_1 = \Omega \frac{4\pi N_1^2 \nu_1}{\mathcal{R}} I_1$$

Digitized by Google

D'où, en formant la somme des carrés et l'égalant au carré de la tension aux bornes U_1,

$$\left.\begin{array}{l}(R_1 I_1 + \Omega M_0 \sin\beta\, \Omega X_2)^2 \\ +(\Omega L_1 I_1 + \Omega M_0 \sin\beta\, \Omega X_1)^2\end{array}\right\} = U_1^2$$

Pour tirer de là une relation entre I_1 et U_1, il suffit d'exprimer X_1 et X_2 en fonction de I_1, d'après les équations précédentes.

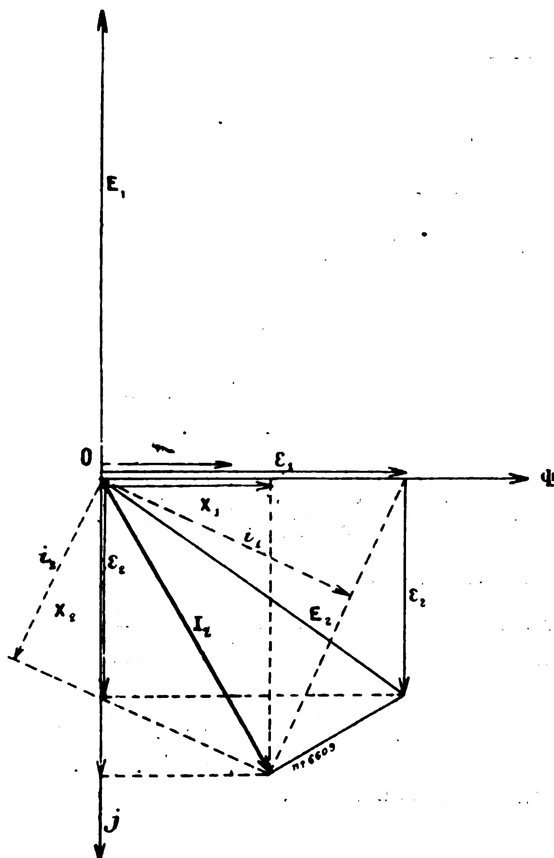


Fig. 18. — Épure des forces électromotrices et des courants dans le rotor.

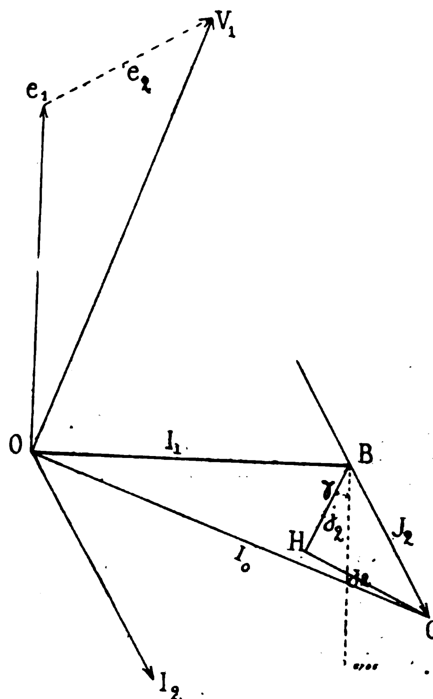


Fig. 19. — Épure des courants équivalents et des forces électromotrices dans l'inducteur.

D'où en substituant et en faisant sortir I_1 de la parenthèse,

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{\Omega^2 M_0^2 \sin\beta}{Z_2}\right)\left(\sin\beta\cos\gamma + \frac{\omega}{\Omega}\cos\beta\sin\gamma\right)\right]^2 + \Omega^2\left[L_1 - \frac{\Omega^2 M_0^2 \sin\beta}{Z_2}\left(\sin\beta\sin\gamma - \frac{\omega}{\Omega}\cos\beta\cos\gamma\right)\right]^2}}$$

Comme on sait que

$$\sin\gamma = \frac{\Omega L_2}{Z_2}$$

$$\cos\gamma = \frac{R}{Z_2}$$

nous pouvons écrire aussi

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{\left[R_1 + \frac{\Omega^2 M_0^2 \sin^2\beta}{Z_2^2}\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\,\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2 + \left[\Omega_1 L_1 - \frac{\Omega^2 M_0^2 \sin^2\beta}{Z_2^2}\left(\Omega L_2 - \frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\,\frac{\omega}{\Omega}\right)\right]^2}}$$

Digitized by Google

ou, si l'on pose pour simplifier

$$\frac{\Omega M_0 \sin\beta}{Z_2} = a, \text{ [1]}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{\left[R_1 + a^2\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2 + \Omega^2\left[L_1 - a^2\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2}}$$

De sorte que I_1 est exprimé en fonction de U_1 et de la vitesse ω ou du rapport de celle-ci à la vitesse du synchronisme Ω, qui est une donnée du moteur, de même que M_0 (γ, β et Z_2 peuvent être modifiées dans une certaine mesure par le réglage).

Le couple est égal au produit du flux inducteur utile par les ampères-tours secondaires par le cosinus de leur décalage relatif et le cosinus du calage des balais, donc

$$C = \frac{4\pi N_1 I_1}{\mathcal{R}} \times \frac{K_2 N_2}{2} X_1 \cos\beta,$$

X_1 étant la composante de I_2 en phase par rapport à I ; ou

$$C = M_0 I_1 \frac{M_0 I_1}{Z_2} (\Omega \sin\beta \sin\gamma - \omega \cos\beta \cos\gamma) \cos\beta$$

$$= \Omega \frac{M_0^2 I_1^2 \sin\beta}{Z_2^2}\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\cos\beta$$

$$= \frac{a^2}{\Omega \operatorname{tg}\beta}\left[\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right] I_1^2.$$

Pour que le couple soit positif au démarrage et que la machine fonctionne en réceptrice, il faut (le premier terme de la paranthèse étant toujours plus grand que le second) que,

$$\sin\beta \cos\beta > 0;$$

d'où

$$\beta > 0$$

$$\beta < \frac{\pi}{2},$$

c'est-à-dire que les balais doivent être calés dans le sens choisi comme positif, c'est-à-dire en *arrière* du sens de rotation.

Si on les décale au contraire en avant, le couple change de sens et la machine peut fonctionner en génératrice.

En remplaçant I_1^2 par sa valeur en fonction de U_1, il vient

$$C = \frac{\frac{a^2}{\Omega \operatorname{tg}\beta}\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)U_1^2}{\left[R_1 + a^2\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2 + \Omega^2\left[L_1 - a^2\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2}$$

Le facteur de puissance $\cos\varphi$ est le rapport de la force électromotrice wattée à la force électromotrice totale,

---

[1] Quand R_2 est négligeable vis-à-vis de ΩL_2, le rapport a se réduit sensiblement au coefficient de transformation, comme dans les moteurs asynchromes ordinaires.

En effet, pour $R_2 = 0$, il reste

$$a = \frac{\Omega M_0 \sin\beta}{\Omega L_2} = \frac{M_0 \sin\beta}{L_2} = \sqrt{\frac{(1-\sigma_0) L_1}{L_2}} \sin\beta$$

Digitized by Google

c'est-à-dire

$$\cos \varphi = \frac{E_1}{U_1}$$

$$\cos \varphi = \frac{R_1 + a^2\left(R^2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)}{\sqrt{\left[R_1 + a^2\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2 + \Omega^2\left[L_1 - a^2\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2}}$$

La puissance utile est le produit du couple par la vitesse angulaire

$$P_u = -\omega C$$

et la puissance consommée aux bornes, le produit du courant I_1 par la force électromotrice wattée

$$P_1 = E_1 I_1 = U_1 I_1 \cos \varphi$$

ou

$$P_1 = \frac{\left[R_1 + a^2\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]U_1^2}{\left[R_1 + a^2\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2 + \Omega^2\left[L_1 - a^2\left(\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\right]^2}$$

Le rendement est le quotient des deux

$$\eta = \frac{P_u}{P_1};$$

l'expression théorique du rendement est donc sensiblement

$$\eta = \frac{\omega}{\Omega}\,\frac{\Omega L_2 - \frac{\omega}{\Omega}\frac{R_2}{\operatorname{tg}\beta}}{\left(R_2 + \frac{\omega}{\Omega}\frac{\Omega L_2}{\operatorname{tg}\beta}\right)\operatorname{tg}\beta + \frac{R_1}{a_2}\operatorname{tg}\beta}.$$

Pour avoir la puissance dépensée totale réelle, il faut naturellement tenir compte non seulement de $R_1 I_1$, mais aussi des pertes par hystérésis et courants de Foucault.

Il est intéressant de connaître, comme cas particulier, I_1, C_1 et $\cos \varphi$ au démarrage ; on les obtient en faisant dans les formules précédentes $\omega = 0$; d'où

$$I_1 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + a^2R_2)^2 + \Omega^2(L_1 - a^2L_2)^2}}$$

$$C = \frac{a^2L_2U_1^2}{\operatorname{tg}\beta\,[(R_1 + a^2R_2)^2 + \Omega^2(L_1 - a^2L_2)^2]}$$

$$\cos \varphi = \frac{R_1 + a^2R_2}{\sqrt{(R_1 + a^2R_2)^2 + \Omega^2(L_1 - a^2L_2)^2}}$$

$$P_1 = \frac{(R_1 + a^2R_2)\,U_1^2}{(R_1 + a^2R_2)^2 + \Omega^2(L_1 - a^2L_2)^2}$$

Si on remplace a par sa valeur complète de la page précédente, on voit que le second terme du dénominateur de l'expression du couple de démarrage a sensiblement la valeur

$$\Omega^2\left(L_1 - \frac{\Omega^2 M_0^2 \sin^2\beta}{Z_2^2} L_2\right)^2$$

$$= \Omega^2 L_1^2\left(1 - \frac{M_0^2 \sin^2\beta}{L_1 L_2}\right)^2$$

$$= \Omega^2 L_1^2 \sigma^2$$

Digitized by Google

et l'expression du couple qui s'en déduit

$$C' = \frac{\Omega M_0^2 L_2}{(R_2^2 + \Omega^2 L_2^2)} \sin\beta \cos\beta \frac{U_1^2}{(R_1 + a^2 R_2)^2 + \Omega^2 L_1^2 \sigma^2}$$

montre qu'on gagne sur la valeur absolue de ce couple en augmentant β au delà de 45°. Mais au point de vue de l'utilisation d'un courant donné, $\beta = 45°$ reste le calage le plus avantageux car il rend maximum le produit $\sin\beta \cos\beta$. Nous reviendrons plus loin sur ce sujet.

A l'aide des formules précédentes, on peut discuter les variations de I_1, C_1, P_1 et φ en fonction des diverses variables, mais cette discussion sera rendue plus facile par les représentations graphiques qui vont suivre.

(*A suivre.*)

A. Blondel.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Méthode pour l'essai des grands alternateurs, par **B.-A. Behrend**. — *The Electrical World and Engineer*, t. XLII, p. 715 et 802, 31 octobre et 14 novembre.

La méthode d'essai des alternateurs de grande puissance préconisée par M. Behrend est analogue à celle que M. Mordey [1] proposa, il y a une dizaine d'années, et consiste, au lieu de la mise en opposition de deux circuits de tension à peu près égaux et constitués avec certains des circuits de l'alternateur s'il est polyphasé, en la mise en opposition de deux circuits égaux de l'inducteur l'induit étant en court-circuit.

Cette manière de faire n'est pas moins ancienne que celle de M. Mordey, car elle fut présentée comme un perfectionnement à celle du savant ingénieur anglais par MM. Ayrton et Miller [2] lors de la discussion qui suivit la lecture du mémoire de M. Mordey.

L'article de M. Behrend contient toutefois quelques remarques qui mettent ces méthodes en harmonie avec les exigences actuelles de la technique et qui méritent par suite d'être signalées.

La première est que la réaction d'induit s'exerçant en sens contraire sur chaque moitié des pôles inducteurs, il se produit un déséquilibrage dans les attractions magnétiques qui entraînent, avec les alternateurs à fer modernes, des trépidations qui rendent la méthode Mordey complètement impossible à employer.

Par le réglage des excitations de chaque moitié de l'inducteur comme l'avaient proposé autrefois MM. Ayrton et Miller, M. Behrend montre d'une façon très simple ce fait, d'ailleurs facile à comprendre, que les champs résultants peuvent être sensiblement égalisés, puis les deux moitiés de l'inducteur, ce qui annule complètement les trépidations et rend cette méthode assez pratique ; il suffit, en effet, de disposer sur l'arbre de l'inducteur, s'il est mobile, une troisième bague collectrice qui permet de régler indépendamment l'une de l'autre les excitations de chaque moitié du circuit inducteur. A la rigueur, on peut mettre l'un des pôles du circuit d'excitation à la masse, de façon à éviter l'adjonction d'une troisième bague.

M. Behrend dit avoir employé cette méthode depuis quelques années et en avoir obtenu des résultats concordants avec ceux déduits d'expériences directes.

Une seconde remarque intéressante est la détermination des élévations de température en marche normale. L'auteur pense qu'elles sont les mêmes que pour le fonctionnement différen-

(1) Voir Mordrey. Sur l'essai et le fonctionnement des alternateurs. *La Lumière Électrique*, t. XLVIII, p. 136 et 194, 1893.

(2) Voir Ayrton. Sur l'essai des dynamos. *La Lumière Électrique*, t. XLVIII, p. 457, 1893.

Digitized by Google

tiel. Cela ne fait pas de doute pour l'inducteur, si l'on mesure l'élévation de température de la partie génératrice qui est la plus excitée.

En ce qui concerne le fer induit, comme les pertes par hystérésis et par courants de Foucault dépendent de l'induction maxima, M. Behrend pense qu'il est assez logique, le champ résultant étant sensiblement le même dans les deux parties génératrice et motrice, de supposer que les pertes y sont égales à celles qui se produiraient pour le fonctionnement normal.

Pour vérifier si cette supposition est exacte, on a essayé deux machines, l'une par une méthode directe de charge et l'autre par le procédé différentiel, ces deux essais ont donné sensiblement le même résultat.

L'égalité des pertes dans le fer conduira évidemment à celle des surélévations de température dans les enroulements induits.

Un dernier point mis en lumière par M. Behrend est la détermination des caractéristiques en charge d'un alternateur pour un faible facteur de puissance. Des résultats obtenus par la méthode différentielle en notant l'intensité du courant d'excitation dans la partie la plus excitée et en déduisant la différence de potentiel aux bornes de la connaissance du courant dans l'induit ainsi que de l'excitation dans la partie la moins excitée et enfin des résultats relevés par un essai direct en faisant travailler la machine sur un moteur synchrone sous-excité et avec le même facteur de puissance, inférieur à 0,2, il découle que les différences entre les tensions aux bornes pour une même excitation ne sont pas supérieures à 2,5 p. 100 pour un alternateur à 72 pôles, 100 tours par minute et une puissance de 200 kilovolts-ampères environ.

La méthode Ayrton et Miller présente donc un certain intérêt pour l'essai d'alternateurs de grande puissance avec très faible facteur de puissance. Elle ne peut toutefois prendre l'importance que propose M. Behrend car, à l'heure actuelle, avec la concurrence exagérée que se font les constructeurs, il est impossible d'admettre que les machines vendues pour travailler sur un facteur de puissance de 0,7 à 0,9 puissent fournir la même puissance apparente avec un facteur de puissance voisin de zéro. Cette méthode pourra néanmoins servir pour la prédétermination des caractéristiques en charge à grand facteur de puissance qui exige la connaissance d'un point de régime en courant complètement déwatté.

C.-F. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 2 décembre 1903 (1).

M. Brunswick fait une communication sur ***l'application industrielle des méthodes d'examen des matériaux magnétiques***.

Afin d'augmenter la puissance spécifique des dynamos on est conduit actuellement à employer des inductions plus élevées, à réduire les entrefers, de sorte que la partie fer du circuit magnétique prend une importance de plus en plus grande. Il faut connaître assez exactement les propriétés magnétiques des corps que l'on emploie ou les étudier avec soin.

Les machines à flux alternatif travaillent généralement à des inductions plus faibles que 10 000 gauss, par suite la perméabilité des tôles employées n'a pas une importance capitale ; on peut se contenter d'imposer une latitude de 20 à 25 p. 100 sur la grandeur de $\mathcal{H}$ qui donne une valeur définie de $\mathcal{B}$, sans que la machine subisse de ce fait une perturbation importante.

Au contraire, pour les machines à flux continu, où l'on atteint souvent 16 000 gauss, et plus, les variations du champ magnétique sont beaucoup plus rapides que celles de l'induction ; si l'on commet une erreur sur $\mathcal{B}$, on peut être conduit à augmenter les ampères-tours magnétisants dans des proportions nuisibles au bon

(1) Outre la communication de M. Brunswick, analysée ici, l'ordre du jour de la séance appelait une communication de M. le capitaine Ferrié sur les *Progrès de la télégraphie sans fil*, et une de M. de Valbreuze sur l'*Arc au mercure et ses propriétés en fonction du vide* ; l'analyse de ces communications sera très prochainement publiée.

Digitized by Google

fonctionnement de la machine. Dans ces conditions, il semble que l'on ne peut guère tolérer un écart de plus de 5 à 7 p. 100 sur $\mathcal{B}$, pour une valeur de $\mathcal{H}$ donnée.

Quand il s'agit de tôles et de fer forgés, les essais magnétiques donnent des renseignements sur lesquels on peut baser des calculs ; il n'en est pas de même avec les aciers coulés. On sait bien aujourd'hui que ceux-ci présentent des soufflures et des défauts d'homogénéité qui rendent illusoires tous les calculs effectués d'après les résultats mesurés sur des éprouvettes prélevées dans la masse. Il est difficile de compter sur approximation de 50 p. 100. M. Brunswick montre les empreintes relevées sur des noyaux d'inducteurs, des soufflures considérables y sont visibles.

M. Brunswick rend hommage, en passant, au perméamètre de M. Picou. Des échantillons de tôles ayant été mesurés avec cet instrument avaient accusé des divergences avec d'autres échantillons antérieurement essayés. Les mesures, reprises par une autre personne, sur le même appareil, ont donné des résultats tombant exactement sur la première courbe ; cette précision, extrêmement rare dans les mesures magnétiques, méritait d'être signalée.

Les corps ajoutés dans la fabrication des aciers modifient beaucoup leurs propriétés. MM. Barrett, Brown et Hadfield ont étudié différents aciers, tant au point de vue chimique qu'au point de vue magnétique et leurs travaux sont aujourd'hui bien connus [1]. M. Charpy a aussi récemment publié un important travail sur cette question [2]. Le résultat de ces travaux est que certains corps, tels que le silicium et l'aluminium augmentent la grosseur du grain des aciers, ce qui les rend plus perméables et diminue leur hystérésis. Il ne semble cependant pas qu'il y ait lieu de généraliser dès maintenant l'emploi de ces aciers spéciaux, les résultats n'étant pas encore définitivement acquis.

La composition chimique ne peut guère fournir des renseignements intéressants pour les électriciens, au moins dans les conditions où elle est possible dans des ateliers mal outillés à ce point de vue.

La résistivité des tôles est importante, car plus elle est élevée plus faibles sont les courants de Foucault. Les tôles en silicium qui ont une résistivité voisine de 40 microhms : centimètre sont intéressantes à ce point de vue.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXII, p. 253 ; 16 août 1902.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXXVII, p. 169 ; 31 octobre 1903.

Pour les mesures d'hystérésis, deux instruments sont bien connus. Le premier, l'hystérésimètre d'Ewing a, comme on l'a déjà dit ici, le grave défaut d'exiger deux étalons, l'un de faible hystérésis, l'autre beaucoup plus fort. Or, le premier est toujours instable, ce qui produit des erreurs d'étalonnage fort importantes. M. Stern a trouvé des variations supérieures à 28 p. 100 sur les échantillons de cet instrument.

L'hystérésimètre de M. Blondel, qui n'exige qu'un seul échantillon, est beaucoup plus précis, mais il a, d'après M. Brunswick, comme le précédent, le défaut de n'opérer que sur de très faibles échantillons et à cause des défauts d'homogénéité des tôles, il ne donne qu'une valeur plus ou moins éloignée de la moyenne [1].

L'Association des Electriciens allemands, qui a édicté des règles d'essai très étroites, — essai au wattmètre sur un échantillon de 10 kg — a indiqué une perte maximum de 4,4 watts par kilogramme de tôle, pour $\mathcal{B} = 10\,000$ gauss et 50 périodes par seconde. Cette valeur qui correspond à 0,003 environ pour le coefficient de Steinmetz, est beaucoup trop élevée ; on obtient couramment 0,002, très stable, à l'heure actuelle.

La question très importante du vieillissement a donné lieu à des travaux fort importants. M. Stern [2], entre autres, a poursuivi des essais depuis 1897 jusqu'à 1902 ; il a soumis les tôles essayées à des températures de 0 à 100°, pendant des temps variant de 5 jours à 15 mois ; il a constaté des augmentations d'hystérésis allant jusqu'à 80 p. 100.

M. Brunswick cite une observation personnelle sur une dynamo qui dut être démontée à cause de l'augmentation incessante de son échauffement. Les tôles de cette machine essayées de différents côtés ont montré une grande facilité

(1) On peut répondre à ceci que la préparation des échantillons et leur mesure sont si faciles avec les hystérésimètres, que l'on peut aisément découper plusieurs échantillons, dans les différentes parties d'une feuille de tôle, et les mesurer séparément pour faire ensuite la moyenne ; on a ainsi, en plus d'une moyenne très certaine, une indication fort utile sur les défauts d'homogénéité. H. A.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 253 ; 15 août 1903.

Digitized by Google

à varier ; M. Charpy a pu par différents traitements — purement physiques — faire varier leur hystérésis dans le rapport de 1 à 2,4.

M. Brunswick rappelle le diagramme de Roozeboom qui permet d'expliquer la constitution des aciers au carbone et de prévoir les modifications qu'ils subissent par le fait de la température.

Une méthode, relativement peu répandue encore dans l'industrie, mérite d'attirer l'attention, elle est dérivée de la métallographie [1]. L'examen au microscope des aciers polis et ensuite attaqués par divers réactifs, principalement par l'acide picrique, permet, par la forme des cristaux et l'importance plus ou moins grande du carbure de fer et du carbone, de classer facilement les aciers étudiés. Il n'est pas encore possible de tirer de cet examen des conclusions fermes au sujet de la courbe de perméabilité et de l'hystérésis, néanmoins cette méthode a l'avantage de montrer rapidement si un métal donné est bien identique à celui qu'on avait en vue.

Une série de projections de photographies microscopiques relevées sur des tôles et aciers destinés à la construction des dynamos montre la grande variété des types qu'on est appelé à rencontrer dans la pratique et combien il est facile par ce moyen de différencier deux échantillons.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

Séance du 20 novembre 1903.

Sur les progrès récents réalisés dans l'industrie de l'ozone, par M. Otto.

M. Otto divise son exposé en trois parties :

1° *Générateurs d'ozone.* — C'est sur les appareils à diélectrique, leur construction et leur rendement au point de vue travail de laboratoire, qu'ont porté les premières recherches. C'est avec ces appareils qu'il a étudié la densité de l'ozone [2], les phénomènes de phosphorescence qui se produisent au contact de divers corps chimiques et de l'ozone, ainsi que la fabrication de la vanilline synthétique en partant de l'huile de clou de girofle [3].

M. Otto rappelle les difficultés qu'il a éprouvées pour appliquer à l'industrie les résultats de ses recherches de laboratoire, avec ces mêmes appareils, et comment il a été amené à imaginer les appareils rotatifs entièrement métalliques, qui ont fait l'objet d'une précédente communication. Il admet pourtant l'emploi industriel possible des ozoneurs en verre dans certains cas. Et, dans cet ordre d'idées, M. Otto décrit deux types d'appareils à refroidissement à eau ou à air, construits simplement et qui peuvent donner des résultats relativement satisfaisants. Il parle aussi des appareils rotatifs à diélectriques, types mixtes, permettant l'utilisation des courants à basse fréquence des secteurs, et de l'appareil à résonateur fonctionnant avec piles ou accumulateurs qu'il a construit pour les usages médicaux.

2° *Épuration et stérilisation industrielle des eaux potables par l'électricité* [1]. — M. Otto résume les résultats obtenus dans les expériences faites en Allemagne sous la direction du docteur Erlwein, et ceux obtenus par lui à Niagara Falls, sous le contrôle d'une Commission officielle. La concentration d'ozone pour une stérilisation normale industrielle a été, dans le premier cas, de 2,5 gr à 1,4 gr, et dans le second, de 2 gr au maximum. Il en conclut que 3 gr d'ozone pur par mètre cube d'air suffisent pour une bonne stérilisation.

M. Otto donne ensuite un aperçu du prix de revient du mètre cube d'eau ozonisé, et montre qu'il ne semble prohibitif dans aucun cas.

---

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXVII, p. 169 ; 31 octobre 1903.

(2) *Écl. Élect.*, t. X, p. 238, 30 janvier 1897.

(3) Voir J. Blondin. Recherches récentes sur l'ozone, travaux de MM. M. Otto et Andréoli, t. XII, p. 204, 24 juillet 1897.

(1) Au sujet de la stérilisation de l'eau potable par l'ozone, voir dans *L'Éclairage Électrique* une analyse d'un travail de Frölich, t. I, p. 500, 4 nov. 1894 ; celle d'un travail bactériologique du Dr Ohlmuller, t. VII, p. 95, 11 avril 1896 ; l'Ozone et les bactéries, par E. Andréoli, t. IX, p. 348, 21 nov. 1896 ; des articles de Blondin, t. XX, p. 127, 29 juillet 1899 ; de Andréoli, t. XX, p. 352, 2 sept. 1899 ; de Otto, t. XXI, p. 394, 9 décembre 1899 ; une note sur des essais faits sur l'eau de la Sprée, t. XXI, p. 514, 30 décembre 1899 ; une conférence de Abraham, à la Société de électriciens t. XXV, p. 326, 24 novembre 1900 ; une nouvelle note sur les essais de stérilisation des eaux de la Sprée, t. XXXII, p. LXXIX, 9 août 1902 ; une note de Van t'Hoff sur des essais faits en Hollande, t. XXXIII, p. 357, 6 décembre 1902 ; une description sommaire de l'usine de stérilisation de Wiesbaden, t. XXXIII, p. XXVIII, 11 octobre 1902 ; une description plus complète de cette dernière usine et de celle de Paderborn, t. XXXIV, p. 371, 7 mars 1903 ; une note sur les installations précédentes, t. XXXIV, p. LVIII, 24 janvier 1903.

Digitized by Google

3° *Applications industrielles.* — M. Otto décrit plusieurs installations industrielles d'ozoneurs, faits par lui, pour la fabrication des eaux potables, de la glace; donne quelques détails techniques sur la production de la vanilline; et expose, en terminant, les conditions d'installation et de fonctionnement de la blanchisserie Charvet, où l'ozone est utilisé pour la désinfection et pour le blanchiment proprement dit du linge.

M. Otto accompagne sa communication de projections, et termine en exprimant l'espoir que l'œuvre ébauchée par lui sera heureusement terminée, justifiant ainsi ce mot de Frémy, que, dans la chimie moderne, une des découvertes les plus importantes, était celle de l'ozone.

M. X. Gosselin présente quelques observations sur la communication de M. Otto.

Il dit que, dans l'ozoneur à diélectriques refroidis par des feutres, il doit se produire fatalement une grande quantité d'acide nitrique à cause de la saturation d'humidité de l'air ambiant; car, suivant lui, dans tous les ozoneurs, l'air doit être desséché avant de passer dans l'effluve.

Il conteste, en outre, la possibilité de l'application rationnelle d'appareils à tubes de verre pour les ozoneurs de grande puissance, à cause de l'impossibilité dans laquelle on se trouve, paraît-il, de se procurer des cylindres de verre de grande dimension, parfaitement calibrés.

Quant aux ozoneurs à tambours, M. Gosselin rappelle qu'il a développé, il y a deux ans, de graves objections contre leur emploi.

M. Gosselin expose, d'autre part, les raisons pour lesquelles il préfère les ozoneurs statiques aux ozoneurs tournants. Il dit en particulier que la limitation forcée de la puissance électrique de ces derniers implique pour leurs constructions des dimensions exagérées avec un développement de surface d'effluve.

Au sujet des chiffres communiqués par M. Otto relativement au poids de l'ozone fourni par kilowatt-heure dépensé dans les ozoneurs de différents systèmes, M. Gosselin dit qu'ils ne peuvent avoir aucune valeur comparative ni même absolue, si l'on fait abstraction du degré de concentration de l'ozone produit; car il fait remarquer qu'un même ozoneur qui fournirait 80 gr d'ozone par kilowatt-heure, dans l'air ozoné à 3 mgr par litre, n'en fournirait pas 60 dans l'air ozoné à 6 mgr.

Il relève enfin la divergence d'opinions qui existe entre les bactériologistes allemands qu'a cités M. Otto, et les bactériologistes français, MM. Roux et Calmette, qui ont présidé à ses expériences de Lille, au sujet de la concentration que doit présenter l'ozone pour détruire les germes dans l'eau d'alimentation.

Ces derniers, en effet, déclareraient indispensables pour une bonne épuration, 4 ou 5 mgr d'ozone par litre d'air, alors que les savants allemands se contentent, d'après M. Otto, de 3 mgr.

Il y a là, d'après M. Gosselin, une différence inexplicable.

M. L. Guillet, après avoir demandé à M. Otto quel était le prix de revient de l'ozonation au moyen de l'appareil domestique décrit, fait remarquer que la communication de M. Otto soulève l'un des problèmes les plus intéressants de la technologie chimique, celui de l'oxydation. Il demande la permission d'envisager rapidement les différentes solutions qui en ont été données, de les comparer entre elles et d'examiner le rôle que peut y jouer l'ozone.

Les oxydants industriels appartiennent à deux classes distinctes : les oxydants directs (oxygène, eau oxygénée, permanganate de potassium, etc.), qui agissent de par eux-mêmes, et les oxydants indirects (bichromate de potassium, peroxyde de sodium, etc.), qui ne cèdent leur oxygène que s'ils se trouvent en présence d'un produit qui en force le dégagement (acide sulfurique, eau, etc.). Un même corps peut, d'ailleurs, rentrer dans les deux classes suivant le composé qu'il doit oxyder.

Quelques oxydants directs ne laissent aucune trace de leur passage autre que l'oxydation; ce sont l'air, l'oxygène et l'ozone. Les autres laissent un résidu qui, dans certains cas (oxyde de manganèse laissé par le permanganate), peut être fort gênant et qui, rarement d'ailleurs, peut ne pas nuire aux opérations postérieures (eau laissée par l'eau oxygénée).

Les oxydants indirects laissent, dans tous les cas, des résidus qui peuvent être extrêmement complexes (sulfate double de potassium et de chrome, laissé par le mélange bichromate et acide sulfurique).

Donc les oxydants directs : air, oxygène et ozone, présentent le très gros avantage de ne laisser aucun résidu. Mais ils ne peuvent être

Digitized by Google

employés dans tous les cas ; de plus, en laissant de côté l'air, ils sont chers; enfin, ils doivent être utilisés au lieu même de production, car les frais de transport énormes constituent un droit prohibitif, et pour l'ozone on ne peut songer à sa conservation.

M. Guillet, après avoir développé ces différents points, conclut en disant que, pour l'ozone, on est frappé par la facilité d'emploi et la difficulté de production. L'ozone s'impose dans certaines fabrications qu'il simplifie (vanilline) ; il peut être utilisé dans certaines industries que son prix de revient n'effraie pas, étant données sa rapidité d'action et sa caractéristique de ne pas laisser de résidu. Mais on ne saurait envisager la généralisation de l'utilisation de l'ozone en chimie industrielle qu'en le préparant et, par conséquent, l'utilisant là où l'énergie nécessaire à sa production est donnée à bas prix, c'est-à-dire aux pays de chutes d'eau.

M. M. Otto, en ce qui concerne les observations présentées par M. Guillet, dit qu'il s'y associe partiellement.

La nature gazeuse de l'ozone, qui se présente toujours dilué dans un grand volume d'air, fait de ce gaz l'oxydant par excellence. Il n'est pas nécessaire que les usines d'ozone soient situées près des chutes d'eau. En comptant le kilowatt-heure à 0,20 fr., l'ozone fournit, dans bien des cas, des résultats plus économiques et des rendements supérieurs à ceux de tous les oxydants connus, directs ou indirects,

M. Otto répond de la façon suivante aux observations de M. Gosselin :

1° La présence de l'humidité ne constitue pas une preuve de la production d'acide nitrique; c'est même l'inverse qui a lieu. Dans une usine de Niagara, où l'on s'occuppe exclusivement de la préparation des nitrates et des nitrites par l'électricité, l'air soumis aux décharges est, au contraire, parfaitement desséché, en vue d'augmenter les rendements ;

2° Les appareils à tubes de verre sont destinés simplement aux usages médicaux, et M. Otto n'a jamais cherché à se procurer des tubes calibrés de grandes dimensions, pour construire des ozoneurs industriels ;

3° M. Otto a démontre expérimentalement que les observations présentées il y a deux ans par M. Gosselin, sur les ozoneurs rotatifs, ne reposent sur aucune donnée scientifique. La preuve en est dans les applications dont ces appareils viennent d'être l'objet tout récemment encore ;

4° En ce qui concerne le poids d'ozone fourni par kilowat-heure, M. Otto regrette que M. Gosselin s'en tienne à des généralités et ne fournisse pas les résultats obtenus avec les ozoneurs qu'il a certainement dû faire construire, mais autour desquels le plus grand silence a été fait jusqu'ici ;

5° Pour le degré de concentration d'ozone nécessaire pour obtenir une bonne stérilisation de l'eau, M. Otto déclare que, loin de mettre en doute la haute valeur scientifique de MM. Roux et Calmette, il s'incline devant elle, mais que les observations de ces savants, faites sans doute dans de mauvaises conditions, n'enlèvent rien de leur valeur aux chiffres prélevés par les bactériologistes allemands, à Wiesbaden et à Paderborn.

M. Guillet répond à M. Otto qu'il connaît de nombreux essais d'oxydation par l'ozone qui ont donné des résultats fort intéressants, mais qui, cependant, n'ont pu recevoir la consécration industrielle. Il estime, au contraire, que ces expériences eussent donné des résultats concluant en tous points, si l'on avait pu produire l'ozone à meilleur compte, en ayant de l'énergie électrique à bas prix.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Manchester

Séance du 7 avril 1903.

Comparaison entre les machines à vapeur et les moteurs électriques pour la commande des machines auxiliaires des stations centrales, par **C.-D. Taite** et **R.-S. Downe**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 1050-1056, août 1903.

Les auteurs sont d'avis que le choix du matériel auxiliaire doit exercer une forte influence sur l'économie de l'exploitation des stations centrales, c'est pourquoi ils exposent dans ce court travail les résultats de quelques observations faites à ce point de vue dans les conditions normales du service courant.

Les machines auxiliaires qu'on trouve dans la plupart des stations centrales d'une certaine importance, et qui sont mises en mouvement

Digitized by Google

par des machines à vapeur ou des moteurs électriques, sont :

Pompes à air pour condenseurs ;
Ponts roulants ;
Pompes d'alimentation ;
Chargeurs mécaniques ;
Racloirs des tubes d'économiseurs ;
Monte-charge pour le charbon ;
Transporteur de cendres ;
Machines d'atelier.

Depuis quelques années on emploie presque exclusivement les moteurs électriques pour actionner la plupart de ces machines. Cependant, aujourd'hui encore, c'est à la vapeur qu'on a généralement recours pour conduire les pompes à air et les pompes d'alimentation, car ces deux machines marchent constamment, tandis que le fonctionnement des autres est intermittent. Mais il faut alors installer de longs tuyaux, dans lesquels les pertes dues aux condensations sont notables, en comparaison de la faible puissance qui se dissipe dans les câbles d'une distribution électrique. La commande électrique a aussi l'important avantage de permettre une mesure facile de la puissance absorbée par le matériel auxiliaire, mesure à peu près impossible si l'on emploie la vapeur. A la nouvelle usine génératrice municipale de Salford, où toutes les machines auxiliaires sont mues par l'électricité, on constate que la puissance qu'elles absorbent varie de 8,3 p. 100 à 6,5 p. 100 de la puissance totale développée, selon la valeur du facteur de charge ; il est évident que ce taux diminue quand le facteur de charge s'améliore. Les chiffres suivants se rapportent à une semaine moyenne :

		Taux p. 100 des kw : h produits
Kilowatts-heure produits . . .	148 851	
Kilowatts-heure consommés à l'usine.	9 687	6.50
Se répartissant ainsi :		
Matériel de la condensation . .	6 962	4.67
Pompes alimentaires des chaudières.	1 758	1.18
Chargeurs mécaniques	555	0,37
Transporteur de cendres . . .	110	0.07
Racloirs des tubes d'économiseurs	157	0.11
Monte-charge du charbon . . .	76	0.05
Atelier	65	0.05
Pont roulant de la salle des machines	4	

Le facteur de charge de la semaine

$$\frac{\text{Kw : h produits}}{\text{Charge max.} \times \text{nombre d'heures de la semaine}}$$

était égal à 39,1 p. 100.

Tous les circuits de force motrice de l'usine étant pourvus de compteurs, il est toujours facile de reconnaître, quand on obtient des chiffres trop élevés, quelles sont les machines auxiliaires dont la consommation d'énergie est anormale.

Pour passer maintenant de la comparaison générale à un cas particulier, on sait que les machines auxiliaires les plus importantes des stations centrales sont les pompes alimentaires. Dans le choix de ces appareils, il faut considérer les points suivants :

1° Sécurité ;
2° Economie de fonctionnement ;
3° Prix d'acquisition ;
4° Entretien.

Sécurité. — Qu'elles soient mues par la vapeur ou par l'électricité, les pompes alimentaires ont une marche également sûre, si elles ont été établies par des constructeurs expérimentés. Ceux qui auraient quelques doutes sur l'endurance du moteur électrique n'ont qu'à considérer les moteurs de tramways, qui résistent à un service bien plus rude que celui d'une pompe alimentaire.

Economie de fonctionnement. — La concurrence du moteur électrique a eu pour résultat de faire progresser notablement les pompes alimentaires à vapeur, sous le rapport du rendement. Elles restent néanmoins bien inférieures à ce point de vue aux grandes machines à vapeur accouplées aux dynamos. Des essais faits à Southport sur des pompes en service depuis trois ou quatre ans, mais récemment visitées et munies de nouvelles bagues, ont donné le résultat moyen suivant :

Kg d'eau débités par kg de vapeur consommé . . 49,1

Ce chiffre est fort inférieur à celui qu'indique le constructeur : 77 à 79.

La différence tient probablement à la nature variable de la charge. Le débit moyen dans ce cas était de 6 580 litres d'eau par heure.

A l'usine de Salford, l'essai d'une pompe de

Digitized by Google

18 000 litres actionnée électriquement a donné les résultats suivants :

Litres débités	Durée de l'essai	Kw : h consommés
40 400	4 heures	27,6
71 300	4 —	36

Si l'on admet qu'il faut 13,5 kg de vapeur pour produire 1 kilowatt-heure, chiffre qui surpasse de plus de 25 p. 100 la consommation à pleine charge des machines à vapeur de l'usine, on déduit des chiffres ci-dessus.

Litres débités par heure	Kg d'eau débités par kg de vapeur consommé
10 000	108
17 800	147

On voit la grande supériorité des pompes électriques sur les pompes à vapeur. Cependant, pour les premières, le rendement du groupe moteur-pompe était faible, la transmission du mouvement se faisant par vis tangente, avec réduction de vitesse de 12 à 1.

Le rendement des pompes à vapeur varie peu entre la marche à faible charge et la marche à charge normale. Au contraire, le débit par kilowatt-heure de la pompe électrique est beaucoup plus abondant à charge normale qu'à demi-charge ; la différence est de 36 p. 100. Il faut donc avoir soin, quand on adopte la commande électrique, de diviser suffisamment la distribution.

Prix d'acquisition. — La valeur de l'économie d'énergie réalisée est proportionnelle au prix du combustible et inversement proportionnelle au prix d'acquisition du matériel. Si l'on considère l'usine de Salford, où la dépense annuelle en combustible est de 150 000 fr, on peut sans aucune exagération évaluer à 2 500 fr par an l'économie procurée par la substitution des pompes électriques aux pompes à vapeur. Il faut mettre en regard l'intérêt et l'amortissement supplémentaires nécessités par le prix plus élevé des pompes électriques. Ce prix peut s'estimer à 8 250 fr pour une pompe de 22 000 litres, tandis qu'on ne paierait que 3 000 fr pour une pompe à vapeur de même puissance. S'il y a trois pompes et si l'on fixe à 6, 5 p. 100 les taux d'intérêt et d'amortissement, la différence annuelle est de 1 000 fr, ce qui réduit l'économie réalisée à 1 500 fr. La somme peut paraître faible, mais ce n'est là qu'un minimum.

Entretien. — Les deux types considérés demandent à peu près les mêmes soins ; pas de différence à signaler.

En résumé :

Sécurité. — Les deux types ont un fonctionnement également sûr.

Economie de fonctionnement. — La pompe électrique est très supérieure.

Prix d'acquisition. — La pompe électrique coûte environ trois fois plus cher que la pompe à vapeur.

Entretien. — Les deux types sont d'entretien facile.

D'une façon générale, les auteurs préconisent les pompes électriques, surtout dans les régions où le charbon est cher. Quand on les emploie, il est indispensable d'installer une batterie d'accumulateurs qui leur fournira l'énergie en cas d'accident au matériel électrogène.

Les auteurs considèrent ensuite le matériel de la condensation. D'après la première table reproduite plus haut, on voit qu'aux usines de Salford cette partie de l'installation n'absorbe pas moins de 4, 67 p. 100 de l'énergie totale développée. Il y a huit condenseurs à injection, pourvus chacun d'une pompe à air actionnée électriquement par l'intermédiaire d'un train d'engrenages à double réduction de vitesse. Chaque condenseur reçoit la vapeur évacuée par une machine de 1 200 chevaux ; l'eau injectée est tirée d'un canal voisin. Le taux pour cent de la puissance absorbée par la condensation, quand la machine fonctionne à pleine charge, est 2,4, tandis qu'on admet d'ordinaire une proportion de 1, 5 à 2 p. 100 quand les pompes à air d'un condenseur à injection sont menées directement par la grande machine à vapeur. Cette dernière solution est assurément la plus économique, mais les machines modernes à grande vitesse ne s'y prêtent pas : on n'a donc le choix qu'entre une machine à vapeur séparée et un moteur électrique. Ce dernier est plutôt un peu moins économique, mais il a l'avantage de la propreté et d'un faible encombrement. Avec les condenseurs à surface, les conditions sont favorables à l'emploi des moteurs électriques.

A Southport, où l'on se sert d'alternomoteurs monophasés pour actionner les pompes centrifuges qui fournissent l'eau au condenseur éjecteur Kœrting, on a enregistré des chiffres intéressants. La hauteur totale est de 10,5 m, le

Digitized by Google

volume d'eau élevé est de 2700 à 3 000 hectolitres par machine et par heure, et la puissance des moteurs est de 35 chevaux. Les machines dont les condenseurs reçoivent la vapeur ont une puissance de 1 000 chevaux.

Pendant un fonctionnement de trois heures, l'alternateur a engendré 510 kilowatts-heure par heure, la puissance normale étant de 600 kilowatts, et le moteur de la pompe a consommé 29,6 kilowatts-heure par heure, soit 5, 8 p. 100. Toutefois, pendant la soirée, ce taux s'élevait à 7, 26 p. 100. Comme la quantité d'eau nécessaire au condenseur ne dépend pas de la charge de la machine, il est évident que lorsque l'aternateur marche à pleine charge (600 kilowatts), le taux pour cent de la puissance absorbée par le condenseur se réduit à 4,93, ce qui est encore un chiffre élevé.

Les résultats suivants ont été relevés à l'usine municipale de Salford pour une durée de service de onze mois. Pendant cette période, les machines auxiliaires ont consommé environ 410000 kilowatts-heure, ce qui équivaut à 7 p. 100 de l'énergie totale engendrée. Comme la dépense en combustible est de 0,025 fr par kilowatt-heure, l'énergie absorbée par les machines auxiliaires revient à 10700 fr. Il est certain que ces machines contribuent à améliorer le facteur de charge du matériel électrogène et par suite à abaisser la dépense de combustible par kilowatt-heure.

Les directeurs d'entreprises électriques, qui s'efforcent de propager l'emploi des moteurs dans l'intérêt de leur clientèle et dans le but d'améliorer leur facteur de charge, devraient donner l'exemple en adoptant la commande électrique, partout où elle est applicable, dans leurs propres usines.

P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 19 mai 1903.

Compoundage des alternateurs auto-excitateurs pour charges et facteurs de puissance variables, par **A. S. Garfield**. *Transactions of the Am. Inst. of El. Eng.*, t. XX, p 811-820, juin-juillet 1903.

Dans cette communication, l'auteur rappelle les caractères des alternateurs polyphasés pourvus d'un enroulement inducteur fermé avec collecteur ; il insiste particulièrement sur l'effet de la position des balais avec des charges inductive et non-inductive variables.

La figure 1 représente une machine bipolaire de ce type ; la position des balais est définie par l'angle Aoa, N est la fréquence des courants induits et S, la vitesse angulaire de l'enroulement excitateur. A vide, pour

$$Aoa = \frac{\pi}{2} \text{ on aura } N = S$$

$$Aoa < \frac{\pi}{2} \quad \text{»} \quad N < S$$

$$Aoa > \frac{\pi}{2} \quad \text{»} \quad N > S$$

En charge, quelle que soit la position des balais, on aura une diminution de la fréquence des courants induits, et un accroissement du

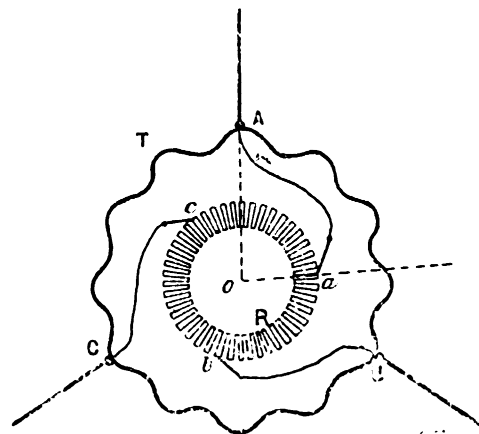


Fig. 1.

courant dans l'enroulement fermé. A vide, il n'y a pas de réaction d'induit en courants induits de facteurs de puissance = 1, mais on aura la réaction ordinaire en courants déwattés. Si l'on déplace les balais dans la direction du mouvement, N augmente; en sens inverse, N diminue. On peut donc, à toute charge par un déplacement convenable des balais, obtenir une quelconque des trois relations entre N et S. Pour $Aoa = \frac{\pi}{2}$ à toute charge, on aura N = S à vide, N < S en charge; ce sont les conditions de la génératrice asynchrone ; mais on peut aussi placer les balais de façon que l'on ait N = S à toute charge prédéterminée.

Digitized by Google

Pour éviter le courant de court-circuit dans les spires en court-circuit de l'enroulement d'excitation, il est nécessaire de changer la position des balais de façon que $N = S$; dans ces conditions la fréquence des courants induits restera constante, ainsi que la position du champ magnétique par rapport à l'enroulement inducteur.

Dans la figure 2, OR représente les ampères-tours d'excitation, OT ceux de l'induit, et OF la résultante. $TOD = \varphi$ est l'angle de phase entre la force électromotrice et le courant. L'angle Aoa de calage des balais correspondant à $N = S$ est figuré en DOR ; il varie suivant la charge et le facteur de puissance. L'un de ces derniers variant, N diffère de S, et une force électromotrice proportionnelle à $N - S$ est induite dans l'enroulement d'excitation. Quand $N = S$, la tension appliquée Od' entre les balais a,b, b,c, ou a,c, qui est la même qu'entre les bornes AB, BC ou CA, contrebalance la chute ohmique Oe dans l'enroulement inducteur, y compris la chute dans les balais et leurs contacts. La chute ohmique est proportionnelle aux ampères-tours OR de l'excitation. Pour des valeurs $DOd' = Aoa$ différentes de DOR, la tension appliquée Od' doit être égale et opposée à la résultante Og de la chute ohmique Oe et de la tension induite Of par le fait du glissement. Pour $DOd' < DOR$, Of est opposé à OD et la fréquence des courants induits diminue ; pour $DOd'' > DOR$, c'est l'inverse. En supposant que la machine travaille à une charge déwattée constante, et que les balais soient placés de façon que $N = S$ pour une certaine charge, pour toute variation de cette dernière, les points d', d'' et g, g' restant fixes, les points T, e et f se déplaceront parallèlement à DD'.

Fig. 2.

La machine travaillera à tension aux bornes constante mais à fréquence variable.

Pour une machine de ce type connectée à un réseau de fréquence N, les balais étant placés dans une position invariable, il y a évidemment une vitesse de rotation N_1 de la machine inférieure, égale ou supérieure à la vitesse N qui correspond à la marche à vide. La machine prendra une charge proportionnelle à la vitesse $N_2 - N_1$, où N_2 représente la vitesse de la machine en charge. La puissance déwattée reste la même pour toutes valeurs de N_2. Si elle est nulle, la machine travaille avec $\cos \varphi = 1$; les balais seront ordinairement placés dans une position telle que $N_2 = N$ pour la charge normale.

Dans la pratique un tel alternateur trouverait peu d'applications ; mais dans la machine de la figure 1 plaçons un deuxième enroulement d'excitation shunt, connecté à un deuxième groupe de balais à 120° et un second collecteur. On fixera ces derniers dans une position telle que les ampères-tours de ce deuxième enroulement soient opposés à ceux de l'induit ; on peut d'ailleurs disposer les choses de façon que les deux forces magnétomotrices aient mêmes grandeur, direction et forme. On obtiendra de cette façon un fonctionnement à fréquence constante et à compoundage parfait quels que soient la charge et le facteur de puissance.

P.-L. C.

Le Gérant : CH. COINTE.

Digitized by Google

Tome XXXVII · Samedi 19 Décembre 1903. 10e Année. — N° 51

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — A. BLONDEL, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — G. LIPPMANN, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — D. MONNIER, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — H. POINCARÉ, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — A. POTIER, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — A. WITZ, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — J. BLONDIN, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

ESSAIS DE TRACTION PAR COURANT ALTERNATIF SIMPLE

A BERLIN

Il est intéressant de suivre avec attention les tentatives faites de toutes parts pour adapter au service de traction, ou à des services analogues, l'emploi du courant alternatif simple.

Ses applications paraissent en effet devoir résoudre le problème plus économiquement que l'emploi simultané de courant continu et alternatif, quand elles dépassent les limites d'un simple réseau de tramways ou d'une simple ligne de banlieue. Aux réseaux de tramways urbains et aux lignes de banlieue de moyenne étendue et de grand trafic, les moteurs à courant continu conviennent le mieux, et, quand les distances l'exigent, le courant alternatif leur est adjoint pour réaliser des transports de force, mais il faut alors utiliser des distributions d'énergie à haute tension et à courant alternatif distinctes du réseau de distribution de courant aux voitures, et ce dernier n'est alimenté par l'usine génératrice que par l'intermédiaire des sous-stations de transformation à commutatrices ou à moteurs générateurs qui entraînent des dépenses d'installation et d'exploitation assez considérables.

On sait les progrès réalisés pour augmenter la portée pratique et le champ d'application du courant continu. Nous en avons donné ici même un exemple en décrivant l'application d'une locomotive Thury à 2 400 volts sur la ligne de Saint-Georges de Commiers à la Mure [1]. On connaît aussi les tentatives faites pour employer le courant électrique sous sa forme jusqu'ici la mieux appropriée au transport et à l'utilisation de l'énergie, c'est-à-dire sous

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXVII, p. 130, 24 octobre 1903.

Digitized by Google

forme triphasée (et non sous forme de courant alternatif simple), en l'utilisant directement à la traction sur les locomotives ou voitures automotrices.

On a réalisé ainsi la traction par courant alternatif sur les lignes suisses de Burgdorf-Thun (1) et de Stanstad Engelberg, sur la ligne allemande à grande vitesse de Berlin-Zossen (2), sur la ligne italienne de Lecco-Collico-Sondrio.

L'emploi direct du courant alternatif à la traction est demeuré à l'état de pis aller seulement pour les moteurs polyphasés, et à l'état de question non résolue pour les moteurs à courant alternatif simple.

L'emploi du courant alternatif simple pour la traction des trains a cependant fait l'objet de recherches diverses dans des voies différentes :

Les unes dans la *voie indirecte* tracée par divers inventeurs, M. Mazen, en France; Ward Léonard, aux États-Unis; la Société Oerlikon, en Suisse.

Les autres dans la *voie d'utilisation directe* par moteurs-série ou par moteurs à répulsion, brevets Lamme, Finzi, Marius Latour, Wagner, Schuler, Winter et Eichberg.

L'application la plus avancée du système d'utilisation indirecte paraît être celle qui est sur le point d'être réalisée par la Société Oerlikon sur une locomotive actuellement en construction. Le principe a été indiqué ici même par M. l'ingénieur en chef Huber (3).

On sait qu'il consiste à monter sur la locomotive un groupe moteur-générateur transformant le courant alternatif en courant continu délivré aux moteurs de traction. Le moteur du groupe est du type asynchrone, et d'ordinaire laissé en marche permanente, et entraîne la génératrice qui fournit aux moteurs série du type ordinaire le courant demandé.

D'un autre ordre est l'application tentée par l'ingénieur américain B. J. Arnold (4) pour adapter le moteur à courant alternatif simple à la traction : On fait ici commander au moteur à courant alternatif simple les essieux mêmes de la voiture; mais on lui adjoint, pour les démarrages, des moteurs à air comprimé, qui fournissent en même temps l'appoint de puissance nécessaire aux à-coups. Ils se prêtent ainsi à une régularisation parfaite de la charge du moteur alternatif simple, en fournissant le complément de travail mécanique aux instants de forte charge, et en prélevant sur ce travail mécanique aux heures de faible charge l'énergie nécessaire pour charger les réservoirs d'air.

Le système Lamme, incomplètement connu d'après la Conférence de l'auteur à l'Institut Américain des Ingénieurs Electriciens (5), réalise sur la ligne de Washington à Annapolis l'application directe du moteur-série, moteur-série à collecteur, analogue aux moteurs de traction à courant continu et muni des perfectionnements destinés à en améliorer le fonctionnement et à éviter notamment l'inconvénient grave des étincelles aux balais.

Du même ordre procède la solution présentée à Milan par le Dr Finzi, dans des essais qui ont eu un grand retentissement et dont il a été donné ici un compte rendu aussi complet que possible (6).

Enfin, les moteurs-série et les moteurs à répulsion ont fait de toutes parts l'objet de recherches dont le compte rendu détaillé nous entraînerait fort loin, parce qu'il nous con-

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVI, p. LXX; t. XX, p. LXXIV; t. XXIII, p. 210 et 502.
(2) *Id.*, t. XXXI, p. 7, 93, 133, 5, 12 et 19 avril 1902.
(3) *Id.*, t. XXXI, p. 305, 31 mai 1902.
(4) *Id.*, t. XXXIII, p. 100, 18 octobre 1902.
(5) *Id.*, t. XXXIV, p. 212, 7 février 1903.
(6) *Id.*, t. XXXVII, p. 394, 5 décembre 1903.

Digitized by Google

duirait à compulser de nombreux brevets et de non moins nombreux articles de journaux, à la plupart desquels manquent cependant les données les plus utiles.

Nous nous contenterons donc d'indiquer les essais et applications qui seront faits de chaque système et notamment aujourd'hui celui qui a été entrepris par l'Union Electrittäs Gesellschaft, de Berlin, sur une ligne de chemin de fer de l'Etat prussien, entre Johannisthal et Spindlersfeld.

Les photographies et les dessins ci-joints indiquent les caractères généraux des essais, qui ont été poursuivis depuis plusieurs mois avec succès à la suite de longues recherches

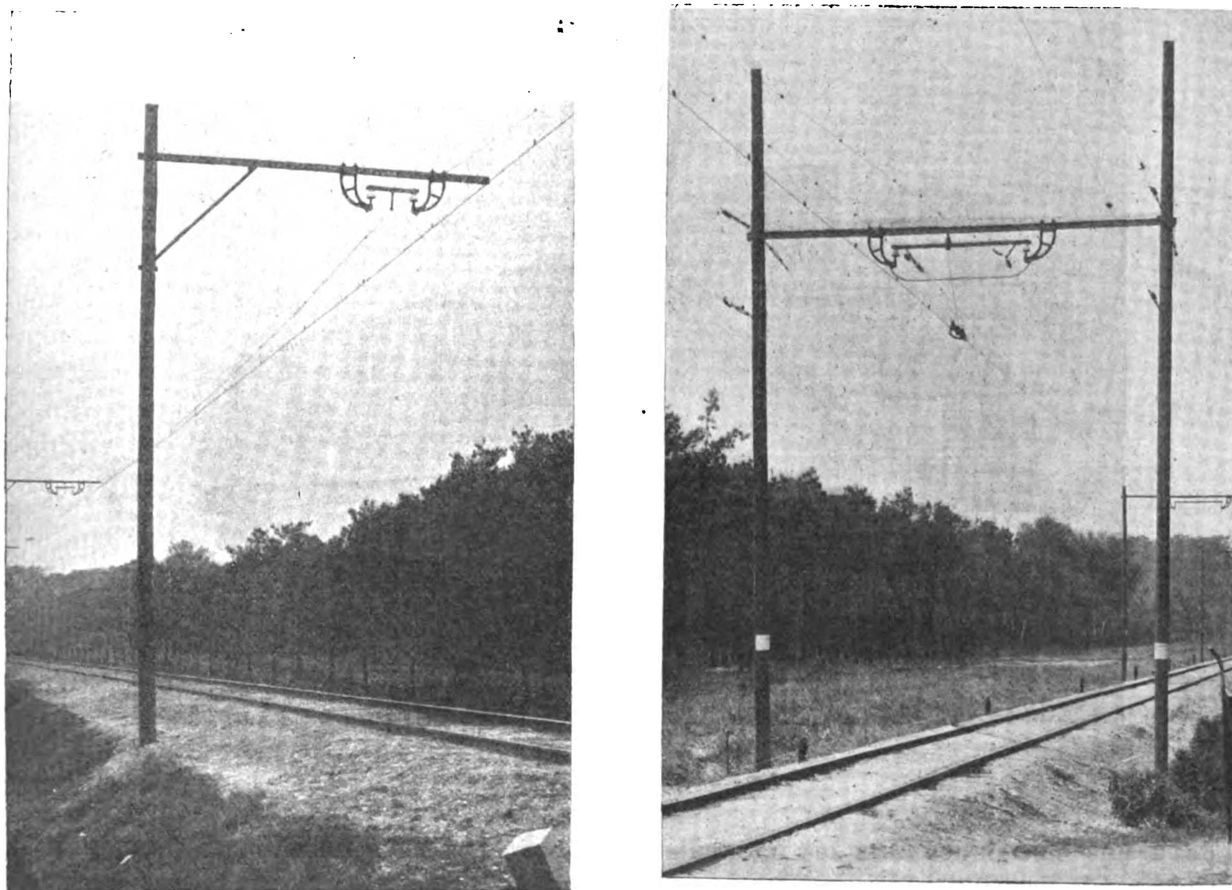


Fig. 1 et 2. — Suspension des conducteurs d'alimentation.

faites par les ingénieurs de la même Compagnie sur une ligne d'essais traversant ses ateliers.

Nous mentionnons cette ligne d'essais parce que le fonctionnement des voitures s'y faisait sous 600 volts, à la fréquence de 40 périodes par seconde, fréquence dont la valeur élevée appelle l'attention d'une manière toute particulière ; car on sait que, si le fonctionnement des moteurs à courant alternatif simple à collecteurs est assez bon à très faible fréquence, il n'en est pas de même à des fréquences élevées, et que 40 périodes auraient paru, avant les recherches et les essais concluants de l'Union Electricitäts Gesellschaft, tout à fait inacceptables pour lesdits moteurs. Aujourd'hui la chose paraît si réalisable que cette Compagnie, a accepté la commande de 20 voitures qui doivent être livrées en mars 1904 à la Société

Digitized by Google

Nationale des chemins de fer vicinaux de Bruxelles pour l'exploitation d'une ligne du Borinage. Chaque voiture sera équipée, comme la voiture d'essais, de deux moteurs de 40 chevaux.

La ligne de Johannistahl à Spindlersfeld fonctionne au contraire à la fréquence de 25 périodes par seconde, et à la tension de 6 000 volts aux voitures. Elle a une longueur de 4 100 m, établie en voie simple et exploitée par l'administration des chemins de fer de l'Etat prussien à l'aide de locomotives à vapeur. L'exploitation courante à vapeur n'a pas été suspendue, mais il a été possible de poursuivre les essais de voitures électriques en lançant

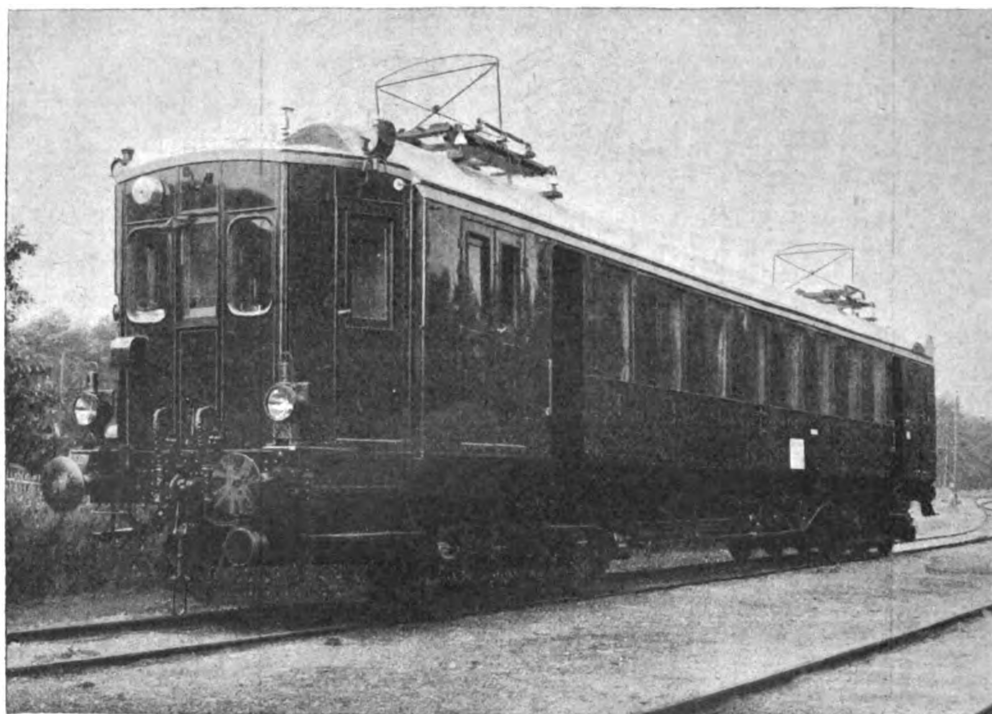


Fig. 3. — Vue de la voiture.

des trains électriques dans les intervalles de temps laissés disponibles par l'horaire des chemins de fer. Sur la ligne existe, entre les deux stations extrêmes, une station intermédiaire disposant de l'évitement nécessaire.

Le train électrique est composé actuellement de deux voitures motrices et d'une voiture de remorque, après avoir été précédemment composé d'une seule voiture motrice en fonctionnement régulier depuis le 15 août.

La voiture contient 21 places assises de première et de deuxième classes et 28 places assises de troisième classe. A chaque extrémité est ménagé un emplacement réservé aux bagages et une cabine réservée au mécanicien.

On a adjoint aux voitures également une intéressante innovation qui consiste à empêcher l'ouverture des portes pendant que l'archet est levé, par un mécanisme qui empêche corrélativement l'archet de prendre contact avec le conducteur à 6 000 volts aussi longtemps que les portes sont ouvertes.

En vue du couplage de deux voitures motrices dans un train, on n'a pas équipé les voi-

Digitized by Google

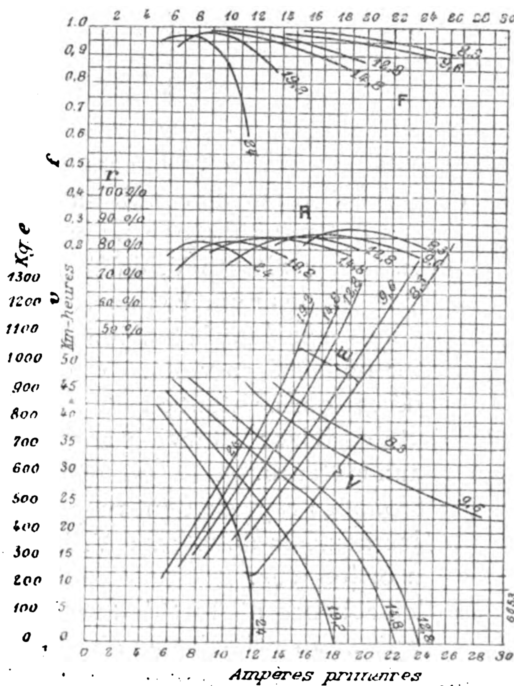
tures de contrôleurs à action directe mais bien de contrôleurs à relais Thomson-Houston, du même genre que ceux des trains à courant continu à unités multiples, qui ont fait l'objet ici même d'une étude détaillée. Le mécanicien peut donc commander les deux voitures, à partir de la plate-forme d'avant, à l'aide d'un contrôleur commandant les contacteurs ordinaires Thomson-Houston, mais bien entendu, ces contacteurs devant fonctionner à courant alternatif ont été lamellés et diverses parties de l'équipement ont reçu des modifications corrélatives de détail, assurant leur bon fonctionnement sous courant alternatif.

La plus importante modification a été reçue par les moteurs, qui ont été pourtant dérivés du moteur GE-66 de 120 chevaux et donnent en courant alternatif la même puissance.

L'équipement électrique complet pèse 6 tonnes, et le poids total de la voiture est de 52 tonnes, ce qui représente pour les appareils électriques une proportion relativement très faible du poids-total.

Le courant à 6 000 volts est recueilli sur la ligne par deux cadres très courts, en forme générale d'archet.

La ligne est, ainsi qu'on le voit par la figure 1, une ligne à faible flèche et à faible tension, car son montage n'est pas réalisé par fixation du fil conducteur à des poteaux, à des consoles ou à des fils transversaux, mais il est fixé tous les 3 m à des fils d'acier placés au dessus et convenablement portés par des traverses, avec l'intermédiaire d'isolateurs convenables. La rupture des lignes a donc moins de chance de se produire, parce que la même flèche dans la ligne correspond à une tension spécifique beaucoup moindre, et, si la rupture se produisait, elle offrirait beaucoup moins de danger, parce qu'au lieu d'une longue portée de fil tombant sur la voie, il se détacherait simplement une section de fil d'une longueur maxima de 3 m, suffisante pour s'en apercevoir et d'en faire la réparation d'urgence.


Fig. 4.

La ligne est suspendue tantôt, comme nous le disions, à l'aide d'un fil d'acier auquel elle est reliée tous les 3 m, tantôt à l'aide de deux fils d'acier, comme le représente une autre de nos figures (fig. 2).

Le retour du courant est fait par la voie de roulement, convenablement éclissée, et on remarquera qu'ici l'inductance des rails, si elle a l'inconvénient d'augmenter la chute de tension, n'a pas du moins celui de déséquilibrer le circuit, comme en polyphasé, et de provoquer la mauvaise utilisation des machines.

D'ailleurs les courants sont d'assez faible intensité, en raison des hautes tensions employées. Le courant à haute tension est recueilli par la voiture à l'aide des deux cadres courts en forme d'archet (visible fig. 3), et, après avoir traversé les fusibles des interrupteurs automatiques, il passe au circuit comportant les inducteurs en série des deux moteurs de la voiture et le primaire d'un transformateur série dont le secondaire alimente les induits montés en parallèle. Le réglage se fait par le secondaire du transformateur à faible tension

à l'aide de contacteurs agissant comme les contacteurs ordinaires des équipements Thomson-Houston à unités multiples.

La tension maxima au secondaire ne dépasse pas 190 volts.

Les moteurs fonctionnent donc bien à 6000 volts, et la voiture a tous les avantages d'une voiture équipée pour tension élevée au point de vue des avantages de la haute tension, sans en avoir les inconvénients, car la partie délicate : induits, balais, etc., est à basse tension ; de plus elle n'offre pas, comme les voitures transformant le courant total, l'inconvénient du grand poids dû à l'adjonction d'un gros transformateur, car les inducteurs sont montés directement à haute tension, et l'induit seul exige une transformation, de sorte que un sixième seulement de l'énergie utilisée subit la transformation voulue, ce qui assure un meilleur rendement et un moindre poids de transformateur.

L'éclairage de la voiture est fait par lampes à 35 volts, à forte densité de courant, alimentées au moyen d'un transformateur spécial, qui alimente aussi un groupe compresseur d'air destiné aux freins et à la commande des appareils à haute tension.

La figure 4 indique les conditions de fonctionnement des moteurs et appelle ici quelques explications que nous donnerons aussi brièvement que possible.

Les courbes de vitesse V, d'effort de traction E, de rendement R et de facteur de puissance F, portent des numéros correspondant, qui indiquent les conditions de fonctionnement du moteur, suivant la tension fournie par le secondaire du transformateur, dont le primaire est soumis à 6000 volts.

Les chiffres représentent exactement les rapports de réduction, ou nombres par lesquels il convient de diviser la tension appliquée au transformateur pour avoir la tension correspondant aux moteurs.

Les ordonnées représentent respectivement :

Pour les courbes de vitesse V, les ampères primaires en abscisses et les kilowatts à l'heure en ordonnées.

Pour les courbes d'effort de traction E :

Les ampères au primaire en abscisses, et les kilogrammes à la jante en ordonnées.

Pour les courbes de rendement R :

Les ampères au primaire en abscisses, et le rendement en pour cent, transformateurs compris, en ordonnées.

Pour les courbes de facteur de puissance F :

Les ampères au primaire en abscisses ;

Les valeurs de F en pour cent ;

La limite d'échelle 100 p. 100 de F étant reportée un peu plus haut que celle de R pour donner plus de clarté aux figures.

Nous nous réservons d'y revenir le jour où les constructeurs voudront bien nous donner sur leurs moteurs et sur les autres appareils de l'équipement des détails plus circonstanciés.

On signale, comme résultats d'essais, que le courant atteint 30 ampères à la vitesse de 40 km à l'heure pour un train composé d'une seule voiture motrice.

La puissance calculée d'après cette donnée d'intensité et d'après la tension de la ligne est de 180 kilovolts-ampères et on indique que la lecture correspondante au wattmètre était de 180 kilowatts, donnant par conséquent un facteur de puissance égal à l'unité.

J.-W. Blackstone.

Digitized by Google

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

DE LA LIGNE DES INVALIDES A VERSAILLES [1]

V. — Dépot, éclairage, essais, etc.

Dépot et atelier de réparations. — Le dépôt et l'atelier de réparations du matériel roulant électrique sont situés au Champ-de-Mars, en bordure de la rue de la Fédération. Le bâtiment comprend trois travées, dont 2 servent de remise ; la troisième est affectée à l'atelier. Une des remises est desservie par un pont roulant à main, pour permettre les manutentions au cours des réparations peu importantes ne nécessitant pas le passage à l'atelier.

L'atelier de réparations comprend des machines-outils de type courant, tours, perceuses, étaux-limeurs, etc., et en outre, des machines et appareils de manutention spécialement appropriés à la réparation du matériel de traction. Citons entre autres une étuve Passburg pour le séchage des moteurs, un tour à roues et une presse hydraulique pour le calage des roues sur les essieux. La présence de l'arbre creux exige en effet l'emploi d'essieux comportant une roue démontable. La même roue peut être calée et décalée plusieurs fois avec une pression convenable, de telle sorte que cette sujétion particulière à l'entraînement élastique n'occasionne pas, comme on aurait pu le craindre, de frais d'entretien exagérés résultant de la nécessité de remplacer au bout d'un certain temps l'essieu monté.

L'outillage de l'atelier est complété par 2 ponts roulants électriques de 10 tonnes, manœuvrables par relais depuis le sol, et 4 vérins électriques permettant le levage rapide des caisses de locomoteurs ou d'automotrices. Les voies du dépôt et de l'atelier sont en outre desservies par un charriot transbordeur électrique de 80 tonnes, portant un cabestan pour le halage des véhicules. Ces différentes dispositions permettent d'effectuer très rapidement les réparations, même importantes. C'est ainsi que le remplacement d'un bogie moteur complet peut s'effectuer en moins de 5 heures, ce temps comprenant toutes les manutentions, depuis l'entrée du véhicule jusqu'à sa sortie de l'atelier.

L'énergie électrique produisant la force motrice de l'atelier et du dépôt est empruntée à la sous-station d'éclairage du Champ-de-Mars.

Eclairage. — L'éclairage électrique des gares de la ligne des Invalides à Versailles et des différents bâtiments annexes, présente un intérêt particulier en raison de la nature du courant qu'il fallait utiliser dans des conditions économiques. A l'époque où se sont faites les installations, on ne pensait pas pouvoir utiliser directement pour l'éclairage le courant à basse fréquence, non plus que le courant continu à 500 volts de la traction.

Aussi a-t-on prévu des groupes moteurs-générateurs fournissant du courant continu à 120 volts. C'est ainsi que sont équipées les sous-stations transformatrices des gares des Invalides et du Champ-de-Mars et des stations de la ligne de Courcelles au Champ-de-Mars.

Les 2 premières sous-stations, munies de matériel Alioth, de la Société d'applications industrielles, comprennent 3 groupes moteurs-générateurs de 60 kilowats. Les moteurs sont asynchrones avec rhéostat de démarrage dans l'induit et mise en court-circuit directe par

[1] Voir les précédents numéros, p. 341, 369, et 419.

Digitized by Google

un poussoir monté en bout d'arbre. Ils reçoivent du courant transformé à 200 volts. La vitesse de rotation est de 500 tours par minute. Ces sous-stations ont été pourvues de batteries d'accumulateurs de 400 ampères-heure.

Le tableau porte 2 paires de barres omnibus destinées à alimenter au besoin séparément le service de force et le service de lumière.

Les sous-stations de la ligne de Courcelles au Champ-de-Mars comprennent chacune un groupe moteur-générateur de 12 kilowatts, de la Société Alsacienne, tournant à 750 tours par minute. Le moteur est asynchrone et reçoit du courant transformé à 100 volts. Une partie de ces moteurs sont pourvus pour le démarrage de coupleurs automatiques modifiant les groupements des bobines du rotor lorsque la vitesse atteint une valeur donnée. Cette disposition est très recommandable pour de petites sous-stations où la surveillance est confiée à un seul homme que son service peut appeler momentanément loin du moteur. On pare ainsi au danger d'un arrêt de quelques instants du courant.

Il n'est pas inutile d'indiquer en passant les conditions que doit remplir un groupe de transformation pour éclairage recevant le courant d'un réseau de traction sans accumulateurs.

Il est bien évident que l'on ne peut pas arriver sans l'emploi d'accumulateurs ou de régulateurs automatiques à maintenir absolument constante la tension aux lampes. Mais on doit chercher à réduire les variations au minimum.

Or les origines de ces variations sont de deux sortes : elles peuvent provenir, en effet, de la variation de tension sans variation de fréquence du courant alternatif ou de la variation de fréquence avec variation de tension corrélative due à l'écart de réglage des régulateurs des machines motrices. Sur le réseau des Moulineaux ce sont ces dernières variations qui prédominent; il est facile d'en saisir le motif : pour que la charge se répartisse convenablement entre des machines marchant en parallèle, il faut qu'il y ait un écart suffisant, soit de la tension, soit de la vitesse entre les différents régimes de charge. Aux Moulineaux, les alternateurs ayant une faible réaction d'induit, il est nécessaire de donner une valeur assez grande à l'écart de vitesse. Il en résulte que les commutatrices auront des variations de tension sensiblement proportionnelles aux variations de la fréquence. Les groupes moteurs-générateurs avec moteurs asynchrones donneraient le même écart de tension que les commutatrices si leurs génératrices étaient à excitation séparée constante. Mais avec des génératrices à excitation shunt, l'écart se trouvera amplifié, et le sera d'autant plus que la machine sera moins saturée.

Si, à l'inverse de ce qui se passe sur le réseau des Moulineaux, les variations de la tension du courant alternatif dues à des causes électriques l'emportaient sur les variations de la fréquence, les meilleurs résultats seraient obtenus pour l'éclairage par l'emploi de groupes moteurs-générateurs munis de moteurs synchrones.

Telles sont les remarques que l'on peut faire sur le procédé d'éclairage par transformation en courant continu. L'emploi direct du courant à basse fréquence, devant lequel on avait reculé tout d'abord dans les installations de l'Ouest, a fini par prévaloir, au moins pour certaines applications, en raison de ses avantages économiques. C'est ainsi que la plupart des stations de la ligne des Invalides à Versailles sont éclairées au moyen de lampes à incandescence à 100 volts, branchées sur les secondaires de transformateurs reliés au réseau des Moulineaux. Ce procédé donne des résultats très satisfaisants.

L'alimentation des arcs par le courant à 25 périodes paraissait plus difficile à mener à bien. Toutefois, après quelques essais qui ont paru satisfaisants, on a installé à la gare de Grenelle-marchandises des arcs recevant le courant à basse fréquence. Les lampes fournies

Digitized by Google

par la Société industrielle des Téléphones ne présentent pas d'autres particularités qu'un mécanisme bien approprié à la fréquence du courant employé et des charbons de fort diamètre. Les oscillations de la lumière ne se remarquent pas sur les surfaces éclairées par les lampes. Elles sont sensibles sur le globe qui entoure l'arc et d'autant plus que ce globe est plus opaque. Pour l'éclairage de grands espaces le résultat obtenu est très suffisant. Mais on peut faire mieux encore en employant, comme le fait M. Brillié, un arc tournant entre les pointes de trois charbons reliés aux trois phases du courant triphasé. Il n'y a plus alors de variations sensibles de l'intensité lumineuse. Les essais effectués depuis deux ans dans cette voie ont été assez encourageants pour que la compagnie de l'Ouest décide l'application de ce procédé à plusieurs stations qui vont être ainsi éclairées prochainement.

Epuisement et alimentation d'eau. — La distribution de l'énergie électrique le long des voies de la ligne des Invalides à Versailles a grandement facilité des services annexes très importants. Parmi ceux-ci il convient de citer l'épuisement des eaux d'infiltration dans la tranchée des Invalides à Javel. Le fond de cette tranchée se trouve en effet au-dessous du niveau des hautes eaux, et il est très important pour la solidité des voies de le maintenir toujours sec. Trois sous-stations de pompage ont été établies à cette effet, l'une dans la gare des Invalides, une autre à la station de l'Alma, la troisième entre les stations du Champ-de-Mars et du Pont-de-Grenelle. La sous-station de l'Alma comporte un groupe d'épuisement, les deux autres chacune deux groupes comprenant un moteur asynchrone de 30 chevaux qui actionne directement une pompe centrifuge pouvant débiter 550 m^3 à l'heure. La sous-station des Invalides renferme en outre deux pompes supplémentaires actionnées par des moteurs à courant continu recevant le courant de la sous-station d'éclairage. L'alimentation d'eau de la gare des Invalides est faite au moyen de deux pompes centrifuges, pouvant élever 75 m^3 à l'heure à une hauteur de 25 m, et actionnées directement par des moteurs asynchrones de 25 chevaux.

En réalité, l'eau n'est pas élevée à 25 m, elle est simplement versée dans des réservoirs clos dans lesquels on entretient une pression de 2 kg par centimètre carré au moyen d'air comprimé de la Compagnie parisienne.

Manutention. — Nous avons déjà parlé des appareils de manutention électriques du dépôt du Champ-de-Mars. Il convient en outre de signaler les monte-charges électriques de la gare des Invalides. Ces appareils sont actionnés par le courant continu de la sous-station d'éclairage. Le démarrage est réglé automatiquement au moyen d'un rhéostat mû par un électro branché aux bornes de l'induit.

Deux monte-charges installés à la station de Neuilly-Porte-Maillot sont actionnés par le courant triphasé ; le démarrage est également réglé d'une manière automatique, mais par un procédé différent de celui employé pour les monte-charges des Invalides. C'est un régulateur à boules qui supprime graduellement les résistances intercalées dans le rotor du moteur asynchrone actionnant l'appareil. Enfin un emploi intéressant de l'énergie électrique est fait à la gare des Invalides pour la manœuvre du grand pont tournant. Ce pont est actionné par un tracteur supporté par un galet roulant sur le même rail que les galets du pont et recevant le mouvement du moteur. Le tracteur est convenablement lesté de manière à donner une adhérence suffisante au galet moteur. Il porte une cabine où se trouvent les appareils de mise en marche et de manœuvre à distance des valets. Le courant emprunté à la sous-station d'éclairage est amené au moyen de bagues supportées par l'axe du pont.

Essais. — Les essais de réception des différentes parties des installations ont présenté

***

Digitized by Google

quelques particularités intéressantes, entre autres les procédés employés pour mettre les machines en charge. C'est là en effet une des difficultés les plus sérieuses que l'on rencontre dans des essais de ce genre.

A l'usine des Moulineaux, on a pu se contenter pour les essais de réception provisoire de charger la machine en essai sur une partie du réseau qui demandait un débit constant. Ce fut d'abord la plate-forme roulante de l'Exposition qui fournit cette charge constante ; la puissance demandée n'était que de 400 kilowatts ; des résistances liquides branchées aux bornes d'une des commutatrices de la sous-station de l'Exposition faisaient l'appoint et permettaient d'obtenir les 800 kilowatts correspondant à la puissance normale d'un alternateur.

Dans des épreuves ultérieures l'alternateur en essai alimentait le Métropolitain, dont les fortes batteries permettent de maintenir facilement la charge à peu près constante, ou tout au moins sans variations rapides.

Pour la réception définitive on employa un rhéostat liquide branché directement aux bornes de l'alternateur. Ce rhéostat était simplement constitué par trois petites plaques de fer de quelques décimètres carrés de surface plongeant dans l'eau du réservoir de 300 m^3 dont nous avons parlé et reliées respectivement aux trois phases. Ce procédé est excellent pour réaliser une charge parfaitement constante pendant un temps indéfini et il ne présente aucun danger. D'ailleurs, si son emploi faisait naître quelque appréhension, il serait très simple de former autour des électrodes une ceinture protectrice constituée simplement par un treillage métallique, plongeant dans l'eau. Le réglage de la charge s'effectue très simplement en rapprochant ou éloignant les électrodes, qui sont placées aux trois sommets d'un triangle et suspendues à des poulies de porcelaine pouvant glisser le long de barres de bois sur lesquelles ces poulies sont enfilées.

Pour l'essai des sous-stations de traction on dut recourir à une batterie de résistances liquides. L'emploi forcé de l'acide entraîne les sujétions que l'on connaît et ne permet pas de maintenir la charge rigoureusement constante.

Enfin les sous-stations d'éclairage des Invalides et du Champ-de-Mars purent être essayées par le procédé très commode de la récupératinn. Lorsque deux groupes moteurs générateurs sont couplés, on peut en agissant sur l'excitation des dynamos faire marcher l'une d'elles en génératrice, l'autre en réceptrice ; le moteur qui actionne cette dernière dépasse le synchronisme et fonctionne comme génératrice asynchrone.

Le réseau fournit alors seulement les pertes des deux groupes et l'excitation des deux machines d'induction, c'est-à-dire que le courant arrivant à la sous-station a une composante wattée qui est la différence des courants wattés des deux moteurs asynchrones et une composante déwattée égale à la somme de leurs courants déwattés. Le procédé est donc économique et en même temps très simple puisqu'il n'exige aucune modification aux connexions. La charge se maintient très constante, à la condition que les variations de tension et de fréquence du réseau ne soient pas trop considérables ; il faut seulement de temps en temps, au cours de l'essai, agir légèrement sur les rhéostats d'excitation pour rétablir la charge qui varie lentement par suite de l'accroissement de résistance des induits avec la température.

Le même procédé serait applicable à des commutatrices, mais on est obligé de le proscrire dans ce cas pour des essais importants, lorsque les génératrices de l'usine centrale sont actionnées par des moteurs n'ayant pas un couple constant pendant un tour.

Le courant d'échange subit alors en effet des pulsations d'amplitude considérable qui fausseraient complètement les résultats. C'est ce que nous avons pu constater avec

Digitized by Google

M. Letheule en appliquant cette méthode à la sous-station de traction de Meudon pour des essais de fonctionnement uniquement comparatifs.

L'ampèremètre du tableau, fortement amorti, ne paraissait indiquer aucune oscillation de l'intensité ; mais un ampèremètre apériodique Chauvin indiquait des variations du simple au double du courant, à chaque tour de la machine motrice, de telle sorte que la lecture en était impossible.

Ces pulsations du courant continu sont corrélatives des variations de fréquence du courant alternatif. En raison de l'inertie de la partie tournante la vitesse n'est pas influencée par ces variations rapides dont l'effet est seulement de modifier le calage du champ de l'induit par rapport à l'inducteur, d'où résulte une variation de la tension continue. Cette variation est de sens inverse dans les deux commutatrices marchant en récupération, parce que les champs produits par leurs induits sont également de sens inverses. Une augmentation momentanée de la fréquence produit un accroissement de la tension de la machine marchant en génératrice de courant continu et une diminution de tension de l'autre machine. Une diminution de fréquence produit l'effet inverse. La variation totale de tension dans le circuit commun peut être de même ordre de grandeur que la tension même qui règne dans ce circuit et qui est la somme des deux chutes ohmiques des deux machines ; d'où l'amplitude considérable des oscillations de l'intensité surtout lorsque les commutatrices sont puissantes.

Réseau téléphonique spécial. — Avant de terminer cette description nécessairement sommaire des importantes installations électriques de la ligne des Invalides à Versailles, il convient de dire quelques mots de la manière dont les différentes parties du réseau se trouvent reliées pour assurer la bonne marche et la sécurité du service. L'usine centrale, les sous-stations et les bureaux des inspecteurs sont mis en communication par un réseau téléphonique spécial. Un poste est placé au tableau de distribution de l'usine, de telle manière que les avertissements lors des manœuvres à effectuer sur les interrupteurs de feeders puissent être donnés très rapidement. Des consignes très rigoureuses sont observées pour ces opérations qui intéressent au premier chef la sécurité des installations et du personnel. Aucun accident sérieux ne s'est produit depuis plus de trois ans que le réseau est en fonctionnement.

Conclusion. — Telle est dans son ensemble cette importante installation électrique de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, particulièrement intéressante pour le technicien par la diversité des applications qu'elle a permis de réaliser. Nous nous sommes plus spécialement appliqué à faire ressortir d'une part les grandes lignes des installations, d'autre part les particularités de fonctionnement les plus dignes d'intérêt qu'elles présentent, sans nous arrêter aux détails de construction qui ne peuvent retenir l'attention que d'un nombre restreint de personnes. Nous étions en outre tenu à d'autant plus de réserve à ce point de vue que ces détails, nous sont connus parce que, par nos fonctions antérieures, nous avions eu entre les mains les plans d'exécution complets de tous les appareils. Nous pensons d'ailleurs que, d'une manière générale, il appartient aux constructeurs eux-mêmes de faire connaître leur matériel. Il n'en est pas de même des dispositions employées pour utiliser ce matériel dans les meilleures conditions de fonctionnement, lesquelles, à notre avis, doivent être décrites et discutées avec la plus grande impartialité dans l'intérêt général. C'est dans cet esprit que nous avons cherché à nous placer pour faire profiter les lecteurs de *L'Éclairage Électrique* des enseignements qui se dégagent des installations que nous avons décrites.

F. Guery.

Digitized by Google

SUR L'AMÉLIORATION DES TRANSMISSIONS TÉLÉPHONIQUES

Deux systèmes sont actuellement en présence qui ont pour but d'augmenter la portée et la netteté des transmissions téléphoniques en augmentant l'inductance de la ligne. On sait que la discussion de l'équation des télégraphistes conduit à la valeur approchée de la constante d'atténuation $\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{\mathfrak{L}}}$; pour diminuer cette constante, il faut ou réduire la capacité C, ou augmenter la self-induction $\mathfrak{L}$.

C'est à ce dernier procédé qu'ont recours les deux systèmes; le premier, dû à Breisig et perfectionné par C.-E. Krarup [1], ingénieur des télégraphes de l'Etat danois, emploie une inductance artificielle uniformément répartie; dans le second, imaginé par le professeur Pupin [2], on distribue sur la ligne des bobines de self-inductance suivant une loi déterminée. Nous avons décrit ce dernier [3] dans tous ses détails d'après des expériences de F. Dolezaleck et A. Ebeling.

La méthode de C.-E. Krarup consiste à bobiner autour des âmes du câble une ou plusieurs couches de fil de fer assez fin. Dans les premières applications de ce procédé, on avait constitué l'enveloppe avec des bandes de tôle contournées en hélice qui avaient le double inconvénient de devenir le siège de courants de Foucault et en même temps d'augmenter la réluctance du circuit magnétique, par suite du trop grand écartement des spires; on arrivait à peine à accroître l'inductance de 0,0005 à 0,0008 henry. L'emploi de fils de fer fins en boucles serrées a donné des résultats sensiblement meilleurs; aussi le gouvernement danois vient-il de faire poser deux câbles équipés suivant le système de Krarup.

L'un de ces câbles relie Laaland à Fehmarn; il mesure 19,3 km et contient quatre âmes, formées chacune de sept brins de cuivre de 1,35 mm de diamètre; autour de chaque toron, on a bobiné du fil de fer de 0,3 mm de diamètre; les spires sont très rapprochées les unes des autres et presque en contact avec le conducteur en cuivre. Si, dans la suite, des actions électrolytiques prenaient naissance au contact des deux métaux; c'est le fer seul qui en subirait les inconvénients; le câble ne perdrait rien de son pouvoir de transmission.

Le deuxième câble entre Helsingör et Helsingbor n'a que 5,3 km de longueur; il est également constitué par quatre âmes à sept brins de cuivre de 0,8 mm de diamètre.

L'enveloppe est formée par du fil de fer de 0,2 mm de diamètre,

Ces lignes en service depuis le commencement de la présente année ont pleinement répondu aux espérances qu'on avait fondées sur elles,

Nous résumons plus loin deux articles parus récemment sur ce sujet dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*; dans l'un, l'auteur, tout en reconnaissant la supériorité du système Krarup sur celui de Pupin, arrive, par des considérations purement théoriques, à des conclusions pessimistes sur l'avenir de l'un et l'autre système; du deuxième, sorti de la plume des auteurs rappelés ci-dessus et qui contient une partie théorique et une partie expérimentale, ressort bien aussi la possibilité d'améliorer un réseau téléphonique en entourant l'âme de cuivre d'une couche de fils de fer, mais ce procédé est inférieur comme rendement à celui des bobines d'inductance de Pupin; il présente même plus de difficultés dans sa réalisation pratique.

T. PAUSERT.

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. XXXIX, 19 juillet 1902.

(2) *Id.*, t. XXVII, p. CXXXVII, 15 juin 1901; t. XXVIII, p. 168, 3 août 1901; t. XXXIV, p. 165, 31 janvier 1903.

(3) *Écl. Élect.*: *loc. cit.*

Digitized by Google

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Contribution à l'étude expérimentale des dynamos, par **E. Arnold**. Communication faite à l'Assemblée annuelle de la Société des électriciens allemands à Mannheim. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 469, 18 juin 1903.

L'auteur expose les recherches, faites sous sa direction, à l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe, sur les phénomènes de la commutation, les courants de Foucault dans le cuivre de l'induit et la détermination du rendement d'après les essais à vide et en court-circuit, pour les dynamos à courant continu.

A. Recherches sur la commutation. — 1° *Facteur de forme de la répartition du courant sous les balais.* — Suivant la forme et l'intensité du champ de commutation et la valeur de la réactance de la bobine commutée, la répartition du courant varie le long du balai, à la fois dans l'espace et dans le temps, à cause de la variation de la position respective des lames et du balai ; mais si la largeur d'une lame est petite par rapport à celle du balai, la variation dans le temps est peu importante, et on peut admettre que la densité locale moyenne donne suffisamment l'image de la répartition vraie du courant sous le balai.

Soit T la durée de la commutation, t le temps compté à partir du commencement de la commutation, et x le rapport $\frac{t}{T}$.

Soit δ_x la densité locale moyenne, considérée comme fonction de x (fig. 1); pour tout le balai de surface σ, la densité moyenne de courant est

$$\delta = \frac{1}{\sigma} \int_{x=0}^{x=1} \delta_x d\sigma;$$

la densité efficace (racine carrée du carré moyen),

$$\delta_{eff} = \sqrt{\frac{1}{\sigma} \int_{x=0}^{x=1} \delta_x^2 \, d\sigma}$$

et le facteur de forme cherché, rapport de la valeur efficace à la valeur moyenne,

$$\lambda = \frac{\delta_{eff}}{\delta}$$

2° *Pertes au contact.* — La perte au contact pour un balai est

$$w_1 = \int_{x=0}^{x=1} \delta_x^2 \rho \, d\sigma,$$

ρ étant la résistance par centimètre carré de surface de contact, résistance variable avec la densité de courant, suivant une loi qui, d'après les essais de M. Kahn, peut être mise sous la forme :

$$\rho = \frac{e_2}{\delta_x} + \frac{e_1}{\delta_{eff}} = \frac{e_2}{\delta_x} + \rho_1,$$

où l'on désigne par e_1 et e_2 des différences de potentiel constantes, caractéristiques de la nature des balais.

Appelons J le courant dans un fil de l'induit, I le courant total ; nous pouvons écrire

$$w_1 = \int_{x=0}^{x=1} \delta_x (e_2 + \rho_1 \delta_x) \, d\sigma = 2\,J\,(e_2 + \lambda\, e_1),$$

et la perte totale pour tous les balais est

$$w = 2\,I\,(e_2 + \lambda\, e_1).$$

Dans les induits à enroulement imbriqué, la répartition est la même sous chacun des balais, et il suffit de faire des mesures sur un balai ; dans le cas de l'enroulemeut ondulé, au contraire, le facteur de forme peut être notablement différent pour chaque ligne de balais et les mesures doivent être faites pour chacune d'elles.

Pour les balais de cuivre, e_2 est sensiblement nul, et pour les balais de charbon, il est voisin de 20 p. 100 de e_1 ; par suite le facteur de forme λ exerce une grande influence sur les pertes de contact : ce facteur, égal à 1 pour une répartition uniforme du courant, se tient généralement entre 1,1 et 1,5, mais peut atteindre 2,0 et même 2,5, lorsque la commutation se fait, sans étincelles appréciables, dans un champ à croissance rapide.

Cette influence se fait sentir fortement sur le rendement et, pour une dynamo de 100 à 130 volts, avec balais de charbon, on peut faire varier le rendement de plus de 1 p. 100, en déplaçant les balais dans la zone de fonctionnement sans étincelles ; il y a également grand intérêt à réaliser

Digitized by Google

un petit facteur de forme, au point de vue de l'échauffement du collecteur.

3° *Courbe de la densité locale moyenne* δ_x. — On ne peut la relever expérimentalement, mais on peut déterminer la courbe de la différence de potentiel locale moyenne (e_x), d'où il est

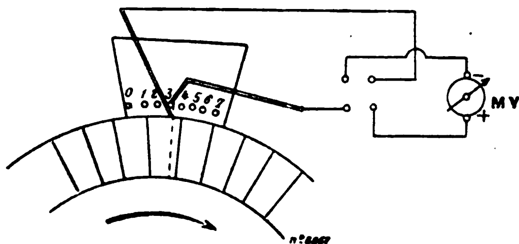


Fig. 1.

ensuite facile de tirer la première : pour cela, on marque de 6 à 10 points équidistants le long du balai, et on mesure les tensions e_x entre lame et balai, au moyen de deux fils de cuivre pointus, appliqués l'un sur le point du balai, l'autre sur le collecteur (fig. 1).

Or on a :

$$\delta_x = \frac{e_x}{\rho} = \frac{e_2 + \rho_1 \delta_x}{\rho},$$

d'où l'on tire

$$\delta_x = \frac{e_x - e_2}{\rho_1},$$

égalité qui permet de calculer δ_x, si on connaît e_2 et ρ_1.

Pour déterminer e_2, on relève la courbe de la différence de potentiel locale moyenne à vide : dans ce cas, la courbe coupe l'axe des x, la densité moyenne est sensiblement nulle et la planimétration de l'aire comprise entre l'axe des x et la courbe donne e_2.

Décalons maintenant l'axe des x de la quantité e_2, la courbe représente, dans ce nouveau système,

$$e_x - e_2 = \rho_1 \delta_x$$

c'est-à-dire la courbe cherchée δ_x, au facteur près ρ_1 ; on aura d'ailleurs ρ_1 en planimétrant l'aire comprise entre cette courbe et le nouvel axe des x, par l'égalité

$$\rho_1 = \frac{\text{aire } (e_x - e_2 \text{ ou } \rho_1 \delta_x) \text{ planimétrée}}{\delta} = \frac{\text{aire } (e_x - e_2)}{\frac{2\,J}{S}}$$

En résumé, *la courbe de la densité locale moyenne n'est autre que la courbe de la différence de potentiel locale moyenne, considérée dans le système d'axes où l'axe des x est surélevé de e_2, et lue au moyen d'une échelle ρ_1 fois plus grande.*

4° *Courbe du courant commuté* i_x. — On a à chaque instant (fig. 2) :

$$i_x = J - \int_{x=0}^{x=x} \delta_x \, d\sigma.$$

La courbe de court-circuit ou courbe du courant commuté est donc l'intégrale de la courbe de la densité locale moyenne.

L'intégration peut se faire au planimètre, ou plus simplement par la construction graphique

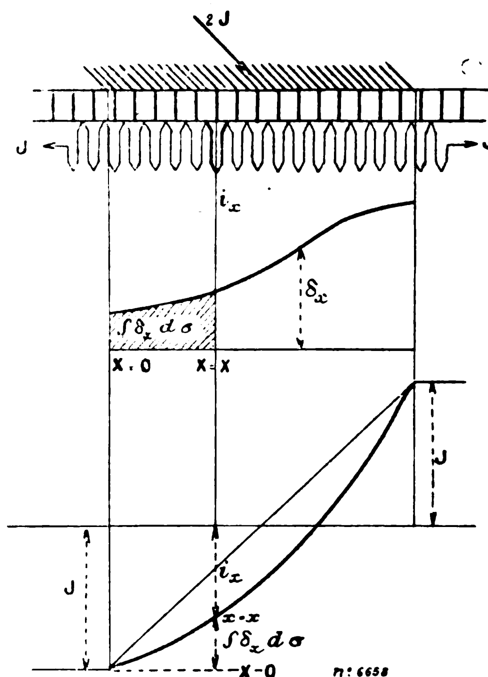


Fig. 2.

de la figure 3 : on divise le temps T de la commutation en un certain nombre assez grand de parties égales, et on élève des ordonnées aux points de division. On prend le milieu des segments de courbe ainsi découpés, on projette ces milieux, parallèlement à l'axe des x, sur l'ordonnée du point $t = T$, et on joint le point O aux projections ainsi obtenues : les vecteurs menés de O donnent les directions des portions de la courbe intégrale correspondante. Pour ramener la courbe à l'échelle choisie pour les

Digitized by Google

ampères, il n'y a qu'à remarquer que QT correspond à 2J.

5° *Courbes de courant commuté calculées et observées.* — L'auteur décrit une série d'essais faits par M. K. Czeija, à l'Institut Electrotechnique de Karlsruhe.

Les essais ont porté sur une dynamo bipolaire de 10 kilowatts, faite pour 800 tours-minute, avec enroulement imbriqué, 48 encoches à 8 fils par encoche (dont 2 fils en parallèle), 48 lames de collecteur, diamètre du collecteur 150 mm. On faisait tourner la machine à 300 tours-minute seulement, excitée séparément à la valeur constante de 3 ampères.

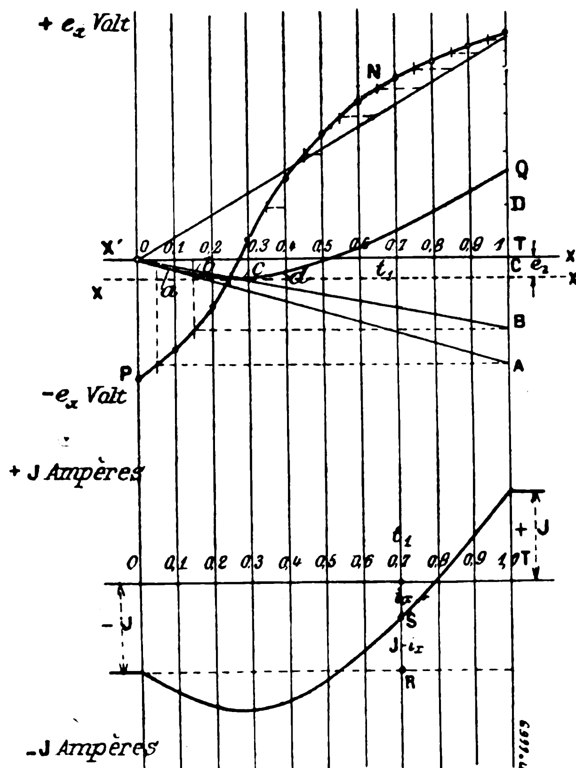


Fig. 3.

Le rapport $\frac{\text{arc polaire}}{\text{pas polaire}}$ était égal à 0,77.

Une bobine A de l'induit était coupée et ses deux extrémités aboutissaient à deux bagues S, entre lesquelles était intercalée une résistance non inductive r, égale à 0,002 ohm, aux bornes de laquelle on mesurait la différence de potentiel, pour observer le courant (fig. 4). On utilisait dans ce but un commutateur tournant et un balistique : le balai de contact du commutateur pouvait être déplacé au moyen d'un plateau divisé, gradué en 720 divisions.

Le commutateur permettait aussi de relever la courbe du champ, en prenant la différence de potentiel entre deux bagues S_2, reliées aux extrémités d'une autre bobine (c'est-à-dire à deux lames voisines du collecteur).

On mesurait aussi la différence de potentiel locale moyenne entre balai et collecteur, par le dispositif de la figure 1.

a. *Fonctionnement en génératrice.* — Les essais ont été faits pour trois positions des balais (fig. 5) (balais de cuivre de $1,4 \times 2,8 = 3,92$ cm² de surface de contact) : I, dans la zone neutre géométrique ; II, 10° en avant et III, 10° en arrière, dans le sens du mouvement.

La figure 5 donne la répartition du champ, la figure 6 les autres résultats.

Position des balais I.

Courbes de courant commuté : A_1, pour $I = 40$ ampères, A_2 pour $I = 60$ ampères.

Courbes de différence de potentiel aux balais : A'_0, A'_1 et A'_2 pour $I = 0$, 40 et 60 ampères.

On en déduit :

$$e_2 = +0,000546 \text{ V, soit pratiquement 0 volt.}$$

Pour $I = 40$ ampères,

$$\delta = \frac{40}{3,92} = 10,2 \text{ A/cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{0,0555}{10,2} = 0,00543 \text{ ohm}$$

$$\lambda = \frac{0,0730}{0,0555} = 1,32$$

$$\delta_{eff} = 1,32 . 10,2 = 13,36 \text{ A/cm}^2.$$

Pour $I = 60$ ampères,

$$\delta = \frac{60}{3,92} = 15,3 \text{ A/cm}^2$$

$$\rho_1 = \frac{0,745}{15,3} = 0,00049 \text{ ohm}$$

$$\lambda = 1,56$$

$$\delta_{eff} = 23,9$$

$$e_1 = 0,122 \text{ volt.}$$

De A'_1 et A'_2 (différences de potentiel), on déduit les courbes de courant commuté A_1 et A_2 calculées (en pointillé), très voisines des courbes observées (en traits pleins) ;

Position des balais II (10° en avant). — On a

relevé les courbes de différences de potentiel A'_0, A'_1, A'_2, et A'_3 pour I = 0,20, 40 et 84 ampères, et les courbes de courant commuté A_2 et A_3, pour I = 40 et 84 ampères.

A'_0	I = 0	e_2 = 0,008 volt	
A'_1	20	δ = 5,1 A/cm²	λ = 1,545
A'_2	40	» 10,2 A/cm²	» 1,041
A'_3	84	» 21,4 A/cm²	» 1,087

Position des balais III (10° en arrière). — Essais pour I = 0 et 40 ampères.

e_2 = 0,0384 volt
δ = 10,2 A/cm²
λ = 2,192

b. *Fonctionnement en réceptrice.* — Ces essais sous une excitation de 3 ampères et une vitesse

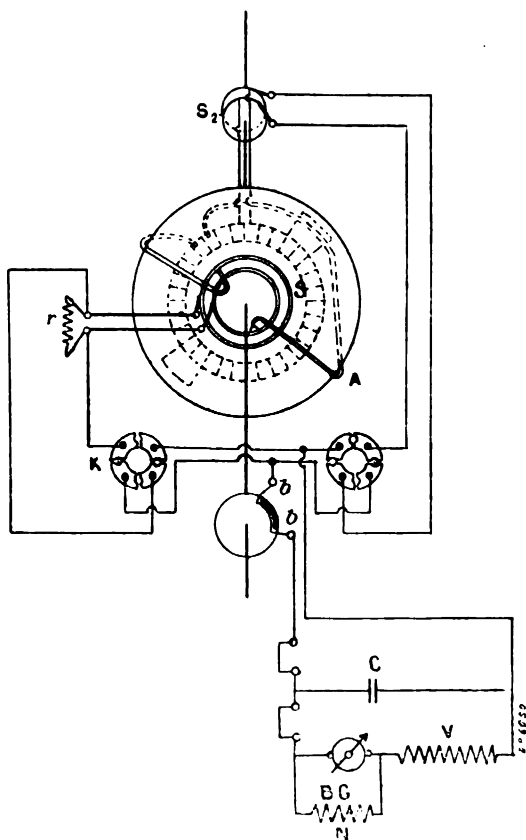


Fig. 4.

de 300 tours-minute sont résumés dans la figure 7, la direction du courant dans l'inducteur et le sens de rotation étant les mêmes que précédemment.

Pour I = 40 A, on a calculé λ_I = 1,48, λ_{II} = 2,20, λ_{III} = 1,33

c. *Essais avec balais de charbon.* — Balai « le Carbone, sorte X », 1,5 × 2 = 3,0 cm², dont l'axe était placé juste au milieu entre les positions I et II précédentes. La figure 8 donne les courbes de différences de potentiel aux balais A'_0, A'_1, A'_2, A'_3, pour I = 0, 20, 30 et 40 ampères,

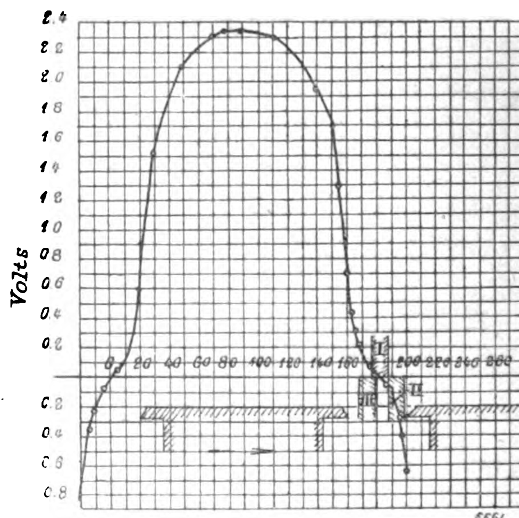


Fig. 5.

et les courbes expérimentales de courant commuté correspondantes, A_1, A_2, A_3.

On déduit des courbes de différences de potentiel :

I = 0 e_2 = 0,22 volt				
I = 20 δ = 6,67	ρ_1 = 0,0622 Ω	λ = 1,095	e_1 = 0,465
I = 30 » 10	» 0,0415	» 1,08	» 0,450
I = 40 » 13	» 0,0321	» 1,07	» 0,450

Les courbes de courant commuté calculées sont tracées en pointillé pour 20 et 40 ampères, et en gros points noirs pour 30 ampères : la coïncidence est très satisfaisante.

6° *Variation du courant commuté avec l'allure du champ de commutation.* — Les figures 6 *c* et 7 *b* donnent l'allure du champ de commutation; la droite pointillée de la figure 6 *c* I représente le champ nécessaire pour réaliser la commutation sous densité constante. Dans la position des balais I, le champ effectif est insuffisant, et la commutation est retardée. L'inversion de courant s'opère sous l'action des phénomènes de différences de potentiel au contact ; à la valeur maximum de i_x correspond le changement de signe des différences de potentiel mesurées et à la marche rapide de l'inversion du courant à la

Digitized by Google

fin, l'augmentation considérable de cette différence de potentiel. La machine marche sans étincelles à 40 ampères et se trouve à 60 ampères à la limite du fonctionnement admissible pour cette position des balais.

Dans la position III, le champ à l'entrée du

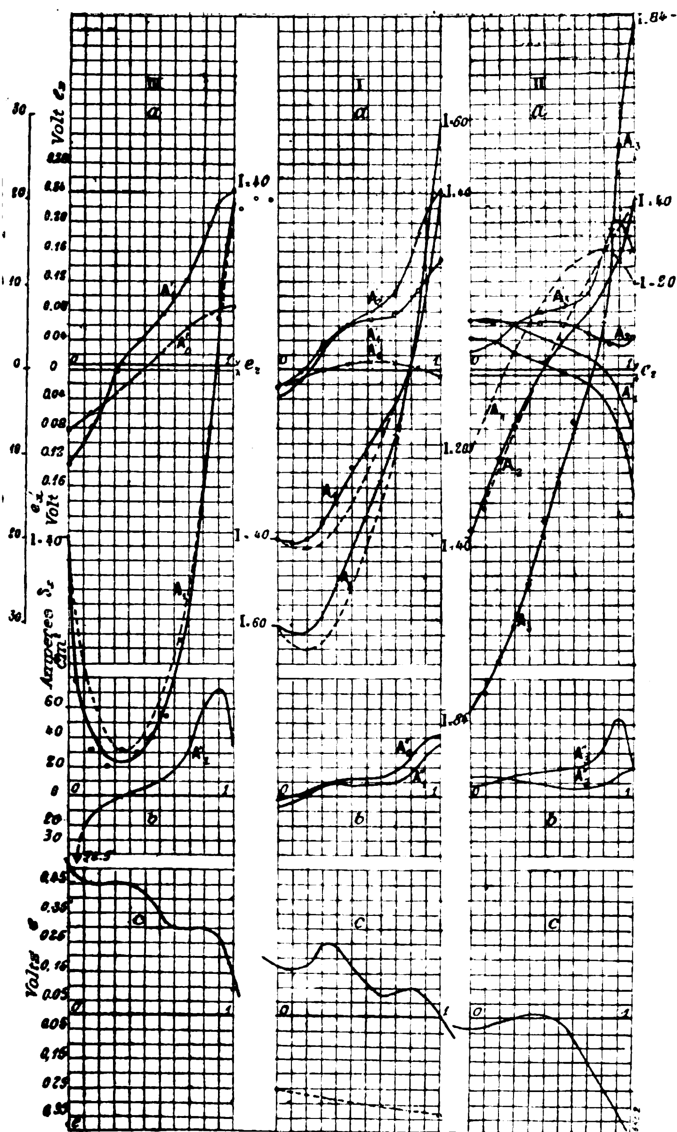


Fig. 6

court-circuit est très grand et en sens inverse de la valeur convenable, d'où résulte une forte sous-commutation et un accroissement rapide de la densité de courant et de la différence de potentiel à la fin du court-circuit ; la machine accusait une forte production d'étincelles et la différence de potentiel à l'arête de sortie des balais atteignait 0, 243 volt.

Pour la position II, sous $I = 40$ ampères le champ est voisin du champ théorique : la courbe de court-circuit montre cependant un petit retard au milieu de la période correspondant au champ très faible en cet endroit. On réalise dans ce cas une commutation à densité sensiblement constante à demi-charge (40 ampères) : pour des charges plus faibles (20 ampères par exemple), il y a surcommutation (champ trop fort à la fin du court-circuit) ; pour des charges plus fortes (84 ampères, par exemple), il y a sous-commutation, le champ étant un peu trop faible; les variations du champ de commutation sont d'ailleurs très grandes dans ce cas particulier, à cause de l'allure brusque du champ inducteur. La machine fonctionne sans étincelles entre 20 et 84 ampères, et crache un peu à vide.

Dans la marche comme moteur, avec la position III, pour $I = 40$ ampères, la commutation se fait d'abord très vite, le champ étant très fort au début, se ralentit à cause de la valeur faible que prend le champ et l'inversion ne se termine que peu avant la fin de la période du court-circuit : la marche se fait sans étincelles de 0 à 60 ampères, la limite acceptable étant 95 ampères.

7° *Indications données par la courbe de potentiel des balais sur l'allure du champ de commutation.* — Tous les essais précédents démontrent l'action importante excercée sur la courbe de court-circuit par l'allure du champ de commutation : en première ligne, c'est cette valeur du champ de commutation qui détermine la courbe du courant de court-circuit et par suite il est inexact de ne considérer comme importante que la tension de réactance.

Dans tous les cas où le courant de court-circuit i_x peut devenir plus grand que le courant J, la courbe des différences de potentiel possède des valeurs positive ou négative suivant le balai.

La figure 9 résume les principales formes de courbes des différences de potentiel relatives au potentiel d'un balai négatif par rapport au collecteur :

A, commutation sous densité constante, champ théoriquement parfait.

B_1 sous-commutation } champ trop faible.
B_2 commutation retardée } champ trop faible.

****

C_1 sur-commutation
C_2 commutation accélérée } champ trop fort.

D_1 commutation d'abord accélérée, puis retardée (champ d'abord trop fort, puis trop faible, moteur).

D_2 commutation d'abord ralentie, puis accélérée (champ d'abord trop faible, puis trop fort, génératrice).

L_0 } commutation à vide { balais dans la zone neutre.
L_1 } commutation à vide { balais décalés en avant.
L_2 } commutation à vide { balais décalés en arrière.

8° *Etude de la commutation à vide et en charge.* — Pour obtenir un bon critérium de la commutation, il suffit de procéder de la façon suivante : Déterminer, en relevant les courbes de différences de potentiel, le calage des balais pour la marche à demi-charge, sous vitesse et excitation normales (calage qui donne la courbe la plus plate). Etudier pour cette position des balais, les courbes des différences de potentiel à vide et à pleine charge : moins la courbe à pleine charge diffère de la courbe à demi-charge et plus la courbe à vide est plate, meilleurs sont le champ de commutation et le fonctionnement sans étincelles avec minimum de pertes au contact.

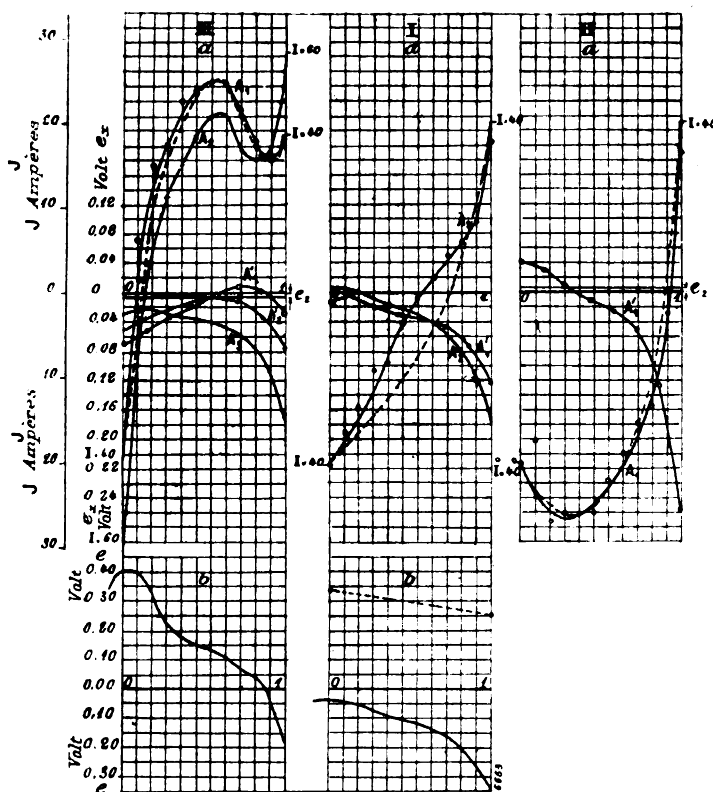


Fig. 7

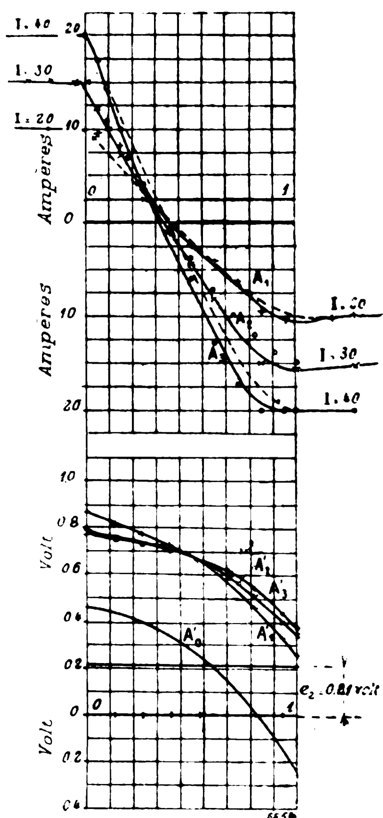


Fig. 8.

La réaction due à l'induction de la bobine en court circuit est généralement négligeable.

9° *Etude de la commutation dans une génératrice en court-circuit.* — Le champ de la dynamo en court-circuit résulte des ampères-tours de réaction d'induit et des ampères-tours inducteurs ; mais ces derniers sont peu importants et peuvent être négligés sans trop d'erreur. Soit un courant de court-circuit égal au courant normal ; appelons — $2\,\mathcal{E}_q$ la force électromotrice engendrée dans la bobine en court-circuit, en sens contraire de la commutation, par le champ de l'induit, — $2\,\mathcal{E}_m$, la force électromotrice engendrée par self-induction, et — $2\,\mathcal{E}_r$ la chute ohmique. Le champ résultant dans la bobine en court-circuit, qui correspond à la variation de

Digitized by Google

champ entre la marche à vide et à pleine charge, est donc représenté par la force électromotrice,

$$-2(\mathcal{E}_q+\mathcal{E}_m+\mathcal{E}_r).$$

Ceci posé, disposons les balais pour que, à la

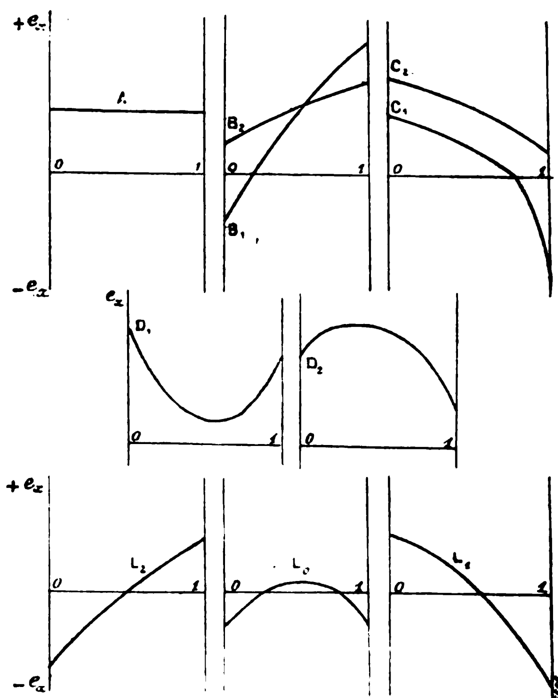


Fig. 9.

demi-charge normale, le champ de commutation engendre une force électromotrice convenable,

$$\mathcal{E}_k=\mathcal{E}_q+\mathcal{E}_m+\mathcal{E}_r,$$

position la plus favorable pour un calage fixe ; en court-circuit, sous le même courant, la commutation se fera dans un champ correspondant à la force électromotrice.

$$-(\mathcal{E}_q+\mathcal{E}_m+\mathcal{E}_r)$$

En pleine charge normale, la commutation, pour la même position, aura lieu sous un champ égal à la somme du champ de commutation correspondant à $\mathcal{E}_k$ et du champ de l'induit correspondant à $-2(\mathcal{E}_q+\mathcal{E}_m+\mathcal{E}_r)$, c'est-à-dire sous un champ résultant

$$-(\mathcal{E}_q+\mathcal{E}_m+\mathcal{E}_r),$$

le même que dans la marche en court-circuit sous demi-courant ; d'où le critérium d'une bonne machine : *elle devra commuter sans étincelles le demi-courant normal en court-circuit, dans la position des balais la plus favorable pour la demi-charge.*

10° *Superposition de la marche à vide et de la marche en court-circuit.* — On peut considérer, surtout dans la région voisine de la région neutre, le champ résultant en charge, comme constitué par la superposition du champ à vide et du champ de l'induit ou champ en court-circuit ; d'ailleurs, comme la répartition du courant sous les balais dépend surtout du champ de commutation, et que cette répartition se déduit de la courbe de différence de potentiel aux balais relevée expérimentalement, on en conclut que la courbe des différences de potentiel aux balais doit coïncider avec la courbe obtenue par la superposition des courbes de différence de potentiel à vide et en court-circuit.

L'auteur donne des exemples montrant que la coincidence annoncée est très satisfaisante dans le cas de la machine déjà étudiée, et dans celui d'une dynamo de 110 volts, 80 ampères et 800 tours-minute.

Cette propriété permet de juger la commutation d'une dynamo sans la faire fonctionner en charge, d'après les courbes relevées à vide et en court-circuit.

Considérons en particulier le cas du fonctionnement avec balais dans la zone neutre géométrique (fig. 10). A représente la courbe du champ de l'induit, L la courbe du champ inducteur, leur superposition donnant la courbe du champ en charge normale C : on voit que plus le champ L est plat au voisinage de la zone neutre, plus le champ de commutation en court-circuit se rapproche du champ de commutation en marche normale, tout en étant toujours plus défavorable ; par suite, on peut être certain du bon fonctionnement en charge d'une machine qui commutera sans étincelles le courant normal en court-circuit dans cette position des balais ; c'est la condition que le Dr Behn Eschenburg exige des machines construites aux ateliers d'Œrlikon.

Cette condition, relativement facile à remplir pour des machines multipolaires à forme de pièces polaires convenable, correspond à un critérium trop sévère, et conduirait pour de

Digitized by Google

grandes vitesses par exemple, à des machines trop chères ; on doit cependant au moins exiger que la commutation se fasse sans étincelles, sous le demi-courant normal en court-circuit pour la position normale des balais (correspondant à la demi-charge).

11° *Valeur de la tension d'étincelles.* — L'auteur désigne sous ce nom la tension entre l'arête d'entrée ou de sortie du balai et le collecteur, pour laquelle commencent à apparaître les étincelles. Pour des balais de cuivre cette tension se

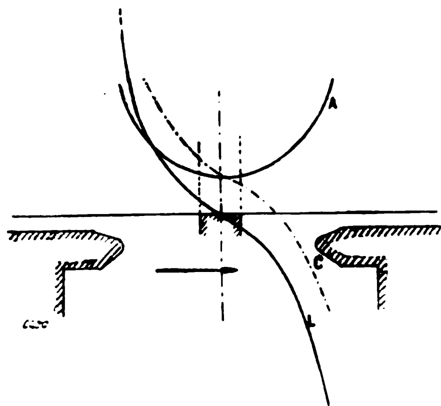


Fig. 10.

tient entre 0,15 et 0,25 volt ; au-dessus de 0,25 volt, les étincelles sont très nettes ; de 0,38 à 0,55 volt, le crachement devient considérable et le collecteur s'échauffe très vite : au-dessous de 0,3 volt, la toile des balais se détruit rapidement. Avec les balais de charbon, la limite des étincelles varie beaucoup suivant la nature du collecteur et surtout la qualité des charbons : 1,8 à 2,5 volts pour les balais, le Carbone, sorte X, et 2,4 à 2,6 volts, pour le Carbone, sorte ∞ (densité de courant admise, jusqu'à 20 A/cm²), pour un collecteur bien lisse et non encrassé.

B. Courants de Foucault dans le cuivre de l'induit. — Lorsqu'on sépare expérimentalement, en faisant varier la vitesse, les pertes par hystérésis des pertes par courants de Foucault, on trouve que les pertes par hystérésis correspondent sensiblement à la valeur calculée par la formule de Steinmetz, tandis que les pertes par courants de Foucault sont souvent supérieures à cinq ou dix fois la valeur calculée d'après la formule usuelle pour les tôles de l'induit. Cette différence entre l'observation et le calcul provient de ce qu'on n'a pas tenu compte, dans le calcul, des pertes par courants de Foucault dans le cuivre de l'induit, pertes qui dépendent de la saturation dans les dents, de la section du fil et de sa position dans l'encoche, de la forme des cornes polaires et qui dans certains cas atteignent des valeurs importantes.

L'auteur donne le résultat des essais effectués à l'Institut Electrotechnique de Karslruhe, par

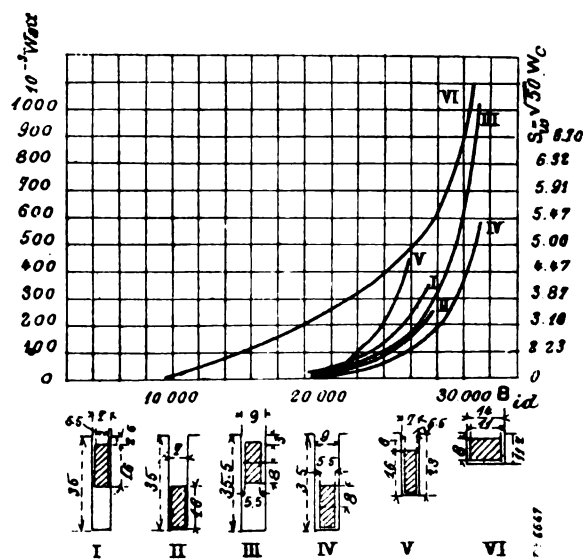


Fig. 11.

M. S. Ottenstein, avec six induits de différentes formes d'encoches, dans un inducteur tétrapolaire de moteur de cinq chevaux, portant des barres de sections diverses et diversement placées dans les encoches. L'induit était entraîné directement par un moteur électrique et le couple transmis mesuré au moyen d'un dynamomètre à ressort, dont la torsion était lue avec contacts électriques et galvanomètre à miroir.

On pouvait ainsi évaluer à 2 watts près la puissance, ce qui donnait des erreurs inférieures à 0,5 p. 100.

Les essais ont été faits à 1 000 tours-minute, soit sous une fréquence de 33,3 ; on déterminait d'abord les pertes par frottement et ventilation en utilisant des barres de bois à la place du cuivre, les conducteurs employés dans les divers essais dépassant toujours le fer de 4 cm de chaque côté.

Les figures 11 et 12 donnent les pertes rap-

Digitized by Google

portées à un volume de cuivre de 1 cm^3, en fonction de l'induction au pied de la dent $\mathfrak{B}_{id}$. Dans la figure 11, les barres ont $5,5 \times 16 = 88$ mm^2 de section : les pertes de I à V commencent pour $\mathfrak{B}_{id} = 18\,000$, augmentent peu à peu jusqu'à $\mathfrak{B}_{id} = 22\,000$, et à partir de là croissent très rapidement ; la courbe VI se rapporte à des barres de 8×11 mm, placées dans des encoches larges et

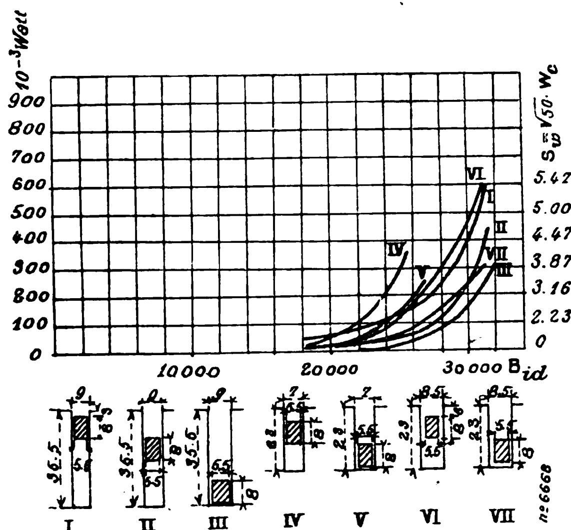


Fig. 12.

peu profondes, disposition très défavorable ; dans la figure 12, la section des barres est $5,5 \times 8 = 44$ mm^2. A gauche des deux figures sont indiquées les densités de courant conduisant à la même perte dans les barres, définies par

$$\delta_c = \sqrt{50\, W_c} \text{ A/mm}^2$$

W_c étant la perte en watts par centimètre cube.

Soit, pour un induit, l la longueur de fer, L la longueur de la spire moyenne, N le nombre de barres, s la section en millimètres carrés, f la fréquence, δ_a la densité de courant due à la charge, la perte totale dans le cuivre sera donnée en watts par

$$W_c = \frac{N s}{5\,000} \left[\frac{L}{2} \delta_a^2 + l \delta_c^2 \left(\frac{f}{33,3} \right)^2 \right]$$

δ_c désignant la densité de courant équivalente aux courants de Foucault, déduite des courbes d'essais relatives à des conducteurs identiques et identiquement placés.

Comme conclusion, on peut dire que, pour les fréquences usuelles dans les dynamos, des inductions de 23 000 à 24 000 sont encore admissibles au pied des dents ; d'autre part, il faut prendre garde que la réaction transversale augmente fortement l'induction dans les dents, et éviter, quand on a affaire à des conducteurs massifs de section importante, de les placer trop près de la périphérie.

C. Détermination du rendement d'après les essais a vide et en court-circuit. — La méthode de détermination du rendement d'une dynamo à courant continu en partant des pertes à vide présente l'inconvénient de donner une valeur trop forte du rendement, parce qu'on néglige la variation en charge des pertes par hystérésis et par courants de Foucault dans le cuivre de l'induit et les pertes supplémentaires de contact aux balais, engendrées par la répartition inégale du courant sous le balai.

Pour tenir compte de cette erreur, l'auteur a proposé, en communauté avec M. J.-L. La Cour, de considérer l'état de charge comme une superposition de l'état de marche à vide et de l'état de court-circuit, et par suite de faire la somme des pertes à vide et des pertes en court-circuit.

Le résultat obtenu n'est pas exact ; pour de faibles saturations on est conduit à des pertes par hystérésis et courants de Foucault trop faibles, pour de fortes saturations à des pertes trop fortes, et de plus, on ne tient pas encore suffisamment compte des pertes dues à l'augmentation des courants de Foucault, occasionnée par l'accroissement d'induction par réaction transversale ; pour les machines assez saturées, cette dernière erreur par défaut peut compenser l'erreur précédente par excès.

Pour une dynamo de 45 kilowatts, 120 volts, 550 tours-minute, le rendement déduit de la méthode des pertes à vide était 0,892 ; de la méthode « marche à vide et en court-circuit », 0,865.

Le facteur de forme aux balais pour l'intensité normale, était 2,1 ; les pertes mesurées, dues aux courants de Foucault, étaient égales à environ vingt fois les pertes calculées dans les tôles de fer. A. M.

Accumulateur Robert Darling. Brevet américain 729 140 du 26 décembre 1901. *Centralblatt f. Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 196, 15 août 1903.

L'électrode positive est en plomb et l'élec-

Digitized by Google

trode négative, en zinc amalgamé. La caractéristique de cette invention est la construction de l'électrode positive. La figure 1 est une coupe verticale de l'élément, la figure 2, une vue en

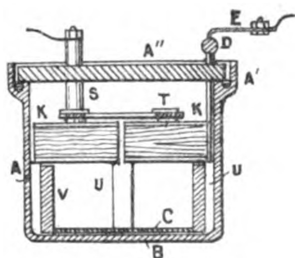


Fig. 1

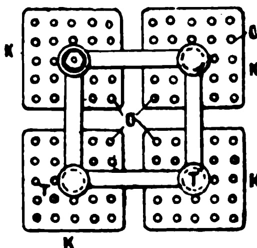


Fig. 2

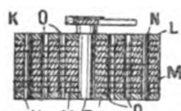


Fig. 3

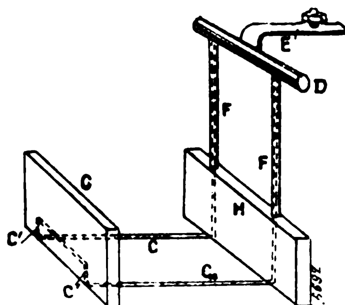


Fig. 4

plan d'une électrode positive à 4 unités, la figure 3, une coupe particulière d'une électrode positive, et la figure 4 représente la disposition de l'électrode négative.

A est un vase en verre muni d'un canal A'. On remplit ce canal d'huile ou de graisse de façon à éviter la formation des sels grimpants. Le couvercle A'' est constitué en matière isolante. L'électrode de zinc B repose sur le fond du vase par deux conducteurs C en cuivre. D est une baguette de plomb qui porte la prise de courant E. Les deux conducteurs en cuivre C sont réunis par soudure à la baguette de plomb; FF sont des isolants; de même H et G qui ont en outre pour but de servir de supports aux électrodes positives. Celles-ci consistent en un certain nombre d'unités K (ordinairement 4). L sont des plaques en plomb dur. Entre celles-ci se trouvent plusieurs plaques minces M en plomb qui ont été d'abord ondulées, puis comprimées fortement en bloc. Des boulons en plomb dur N maintiennent le tout. Le bloc est en outre perforé d'un certain nombre de trous O.

L. J.

Sur les briquettes et cylindres de bioxyde de manganèse, par le Dr **Julino Zellner**. *Centralblatt f. Accumulatoren Elementen und Accumobilenkunde* t. IV, p. 165 et 189, 15 juillet et 15 août 1903.

Les briquettes et cylindres employés dans les piles du type Leclanché sont de qualités très inégales. En général, elles sont fabriquées en mélangeant les différentes matières et en les comprimant fortement (300 atmosphères) à température un peu élevée (environ 100° C). La grosseur des grains des matières employées est très variable. Comme liants, on utilise différentes laques. Le tableau suivant indique d'ailleurs quelques compositions de briquettes.

	D'APRÈS Leclanché.	D'APRÈS Carhart-Schoop.	D'APRÈS Härden.	D'APRÈS Zellner (1903).	D'APRÈS Zellner (1898).
Humidité	—	—	—	1	2
Charbon de cornue	52	52	—	—	32
Graphite	—	—	20	21	—
Bioxyde de manganèse	40	40	65	75	49
Bisulfate de potassium	—	3	5	—	—
Bisulfate de sodium	3	—	—	—	—
Laque	—	5	2	2	5
Mastic	—	—	8	—	—
Gomme-laque	5	—	—	—	—
Verre soluble					12

Comme on le voit, les proportions de bioxyde de manganèse et de liant sont très inégales. Plus la quantité de ce dernier est faible et plus grande doit être la pression pour avoir une briquette de solidité suffisante.

La quatrième briquette du tableau renferme

Digitized by Google

très peu de liant et est cependant très solide malgré la grosseur (2 à 3 mm) des grains de bioxyde employé. C'est que le graphite utilisé, très finement moulu, remplit les intervalles des grains de bioxyde. Les briquettes ainsi fabriquées n'ont pas l'aspect brillant que donne la présence des liants.

Il importe de ne pas chauffer au rouge les briquettes, car alors il y a réduction du bioxyde en présence du charbon. Ainsi l'auteur a préparé une briquette renfermant 41,67 p. 100 de charbon de cornue, 41,67 p. 100 de bioxyde (à 73,86 p. 100 $Mn O^2$) et 16,66 p. 100 de goudron. La teneur du mélange en $Mn O^2$ atteignait ainsi 30,8 p. 100. La briquette étant chauffée au rouge ne renfermait plus ensuite que 14,59 p. 100 de $Mn O^2$, alors que la proportion aurait dû devenir 34,6 p. 100 par suite de la carbonisation du goudron. Plus de la moitié du bioxyde est ainsi devenu inactif.

Malgré cela, cette pratique est encore employée pour les briquettes et surtout pour les cylindres qu'on ne fait pas autrement. Cette manière défectueuse de procéder avait pour excuse que l'on croyait que l'oxydule formé pendant l'échauffement pouvait se régénérer en bioxyde au contact de l'air. L'auteur démontre qu'il n'en est rien en expérimentant sur 3 échantillons : 1° de l'oxydule de manganèse pur provenant de la calcination du carbonate dans un courant d'hydrogène ; 2° de la poudre d'une briquette chauffée au rouge dans un creuset de platine ; 3° de la poudre d'un bioxyde à gros grains ayant servi 6 à 7 ans dans une pile Leclanché. Ces matières étaient disposées en couches minces dans des vases en verre puis laissées pendant 57 jours à l'action de l'air.

L'humidité et la teneur en bioxyde étant dosées avant et après l'essai, les résultats suivants étaient obtenus :

	ESSAI 1		ESSAI 2		ESSAI 3	
	Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai.	Après l'essai.	Avant l'essai.	Après l'essai.
Humidité	0 p. 100	0,63 p. 100	0 p. 100	0,75 p. 100	0,64 p. 100	0,72 p. 100
Bioxyde de manganèse	0 p. 100	1,1 p. 100	4,0 p. 100	5,46 p. 100	80,82 p. 100	80,95 p. 100

On peut en conclure que la régénération à l'air est à peu près nulle en pratique. L'essai 3 montre aussi que dans bien des cas on prend des quantités trop excessives de bioxyde, puisqu'après plusieurs années de service pendant lesquelles on a remplacé souvent le zinc, il reste encore plus de 80 p. 100 de bioxyde de manganèse.

Une autre question est celle de la meilleure forme à employer. D'après les expériences faites jusqu'ici, on fait de préférence un mélange de bioxyde à petits grains et de charbon (graphite) finement pulvérisé, et on comprime (Hydra, Gnôme, etc.). Cette couche ne doit pas être trop épaisse par suite de la résistivité élevée du bioxyde (environ 8 000 ohms-cm) et aussi par suite de l'inactivité des particules trop éloignées. On favorise la conductibilité en choisissant un charbon bon conducteur, tel que le graphite pur, et en comprimant fortement.

Comme la surface de l'électrode doit être aussi grande que possible, la forme la plus rationnelle paraît être celle de la pile Hydra, par exemple, dans laquelle un cylindre de charbon est recouvert par pression du mélange bioxyde-charbon intérieurement et extérieurement.

L'emploi de bioxyde sous la forme de morceaux ou de grains séparés est désavantageuse.

Dans le cas des briquettes, la forme de plaques assez minces bien adhérentes au charbon, est à recommander. Cependant il est difficile alors d'obtenir la solidité suffisante si on n'a pas recours aux matières à grains très fins. L'auteur pense qu'on peut parvenir à une plus grande solidité en remplaçant les liants actuels par les oxychlorures de zinc ou de magnésium qui cimentent fortement.

Enfin, on peut se passer d'électrode spéciale en charbon et constituer l'électrode uniquement avec le mélange, ce qui simplifie la construction.

Pour analyser la matière, on prend 5 à 15 gr

Digitized by Google

de celle-ci finement pulvérisée, on sèche à 110° puis on détermine la quantité de résines par extraction avec l'alcool ou l'éther. On traite ensuite par l'eau qui élimine les bisulfates et en partie le verre soluble. Du résidu séché, on prend un gramme qu'on traite par une quantité déterminée d'acide oxalique et d'acide sulfurique concentré jusqu'à complète décomposition du bioxyde, ce qui dure une à deux heures à chaud. Du dosage de l'acide oxalique restant, à l'aide du permanganate, on déduit la quantité de bioxyde de manganèse. La matière restante est le charbon que l'on pèse et que l'on incinère pour en retrancher les cendres; celles-ci proviennent en partie du charbon et en partie du bioxyde.

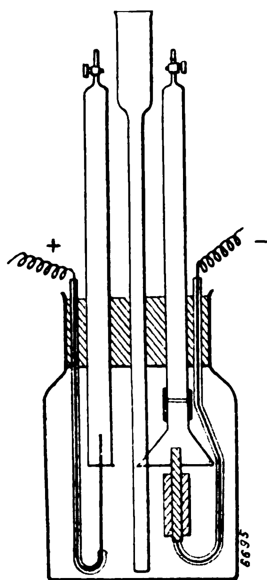


Fig. 1

Si l'on veut connaître la portion d'oxydule, ce qui est important dans les briquettes cuites au rouge, on détermine le manganèse total contenu dans les cendres d'un poids connu de matière initiale calcinée; en déduisant la portion de bioxyde trouvée d'autre part, on a l'oxydule.

L'analyse ne suffit pas pour juger de la qualité des briquettes au point de vue de leur action dépolarisante qui dépend aussi de la grosseur des grains, de l'espèce de charbon et de la porosité.

Pour faire cet essai, l'auteur emploie le dispositif représenté en figure 1.

Un vase en verre est fermé par un bouchon de liège perforé de cinq trous. Dans deux de ces ouvertures passent deux tubes gradués munis d'un robinet; l'un d'eux est relié en outre à un entonnoir à sa partie inférieure.

Dans ces conditions les gaz se dégageant de la briquette montent dans le tube. La troisième ouverture laisse passer un tube à entonnoir. Enfin les deux dernières sont traversées par les conducteurs du courant qui sont des fils de platine. Au pôle négatif le fil de platine est introduit dans le charbon sur lequel la briquette est fixée avec des bracelets de caoutchouc. Le vase et les tubes sont remplis d'une solution assez concentrée de sulfate d'ammoniaque. On fait passer ensuite un courant de 0,1 à 0,2 ampère et on observe le temps qui s'écoule jusqu'au dégagement d'hydrogène. On laisse alors le niveau baisser dans les tubes, on mesure la différence de niveau entre ces tubes et le tube à entonnoir et on laisse passer le courant pendant un temps déterminé; on mesure à nouveau la différence de niveau et, après corrections de pression, on juge de l'action dépolarisante d'après le déficit en hydrogène.

En opérant sur la briquette mentionnée ci-dessus et qui avait été préparée à température élevée, l'auteur a obtenu les résultats suivants : la briquette employée avait 15 mm-largeur, 8 mm-épaisseur et 55 mm-hauteur. La surface totale active atteignait 26,5 cm². Dans les premiers instants l'intensité du courant s'élevait à 0,28 ampère, puis baissait à 0,15 ampère après 3 minutes, lorsque commençait le dégagement d'hydrogène. Après cinq minutes, l'intensité était de 0,12 ampère. On interrompait cinq minutes, puis on envoyait à nouveau le courant dans l'appareil. Les quantités de gaz recueillies en 10 minutes étaient alors : 3,4 cm³ d'oxygène à la pression de 132 mm de liquide et 6,4 cm³ d'hydrogène à la pression de 155 mm de liquide. Le poids spécifique de la solution étant 1,23 et la pression atmosphérique 742 mm de mercure, on trouvait en ramenant à la pression 760 mm de mercure :

Hydrogène.	6,35 cm³
Oxygène	3,37 »

D'après la quantité d'oxygène, il aurait dû être dégagé 6,74 cm³ d'hydrogène. La différence soit 6 p. 100 du volume d'hydrogène provient de l'action dépolarisante du bioxyde de manganèse.

L. J.

TÉLÉPHONIE

Sur les câbles téléphoniques à enveloppe en fils de fer**,** par **C.-E. Walsoe.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 746, 10 septembre 1903.

La méthode de Krarup est sans aucun doute plus rationnelle que celle de Pupin : 1° Elle n'augmente pas la résistance ohmique ; 2° la self-induction est uniformément répartie sur toute la longueur du câble. En outre les bobines de Pupin ne peuvent, d'après leur nature même, jouer le rôle d'une inductance uniformément répartie que pour une fréquence déterminée.

Or on sait que dans la transmission de la parole le nombre de périodes par seconde peut varier entre 100 et 1000. A la méthode de Krarup on a reproché d'augmenter la capacité ; cette objection serait vraie pour des conducteurs traversés par du courant continu, mais avec le courant alternatif sa valeur est d'autant plus faible que la fréquence est plus grande. Il est facile d'expliquer le rôle de l'enveloppe de fer en se figurant qu'elle aspire et concentre en soi les lignes de force éparses autour du conducteur, comme le fait un petit barreau de fer doux placé entre les branches d'un électro-aimant. Théoriquement on peut interpréter le phénomène de la façon suivante :

Soit i l'intensité du courant qui traverse un conducteur rectiligne. Considérons un anneau de fil de fer, de perméabilité μ, dont le plan est perpendiculaire à ce conducteur et prenons sur cet anneau un élément de longueur dl et de section s traversé par un flux Φ. D'après la formule qui donne la force magnétomotrice en fonction des ampèretours, on peut écrire :

$$0{,}4\,\pi i = \Phi \int \frac{dl}{\mu s}, \qquad (1)$$

où l'intégrale représente la réluctance du circuit magnétique. Si l'anneau a une longueur l et une section constante s, l'expression (1) devient : $0{,}4\,\pi\, i = \Phi\, \frac{l}{\mu s}$. Chaque variation de Φ engendre dans le conducteur une force électromotrice e opposée à la force électromotrice E qui produit le courant i et on sait que $e = \mathrm{K}\,\frac{d\Phi}{dt}$, K étant une constante. L'équation différentielle qui donne i est donc la suivante : $\mathrm{E} - e = \mathrm{E} - \mathrm{K}\,\frac{d\Phi}{dt} = ri$ (2), r résistance ohmique du conducteur. Remplaçons Φ par sa valeur dans (2), il vient : $\mathrm{E} - 0{,}4\,\pi\,\mathrm{K}\,\frac{s}{l}\cdot\frac{d(\mu i)}{dt} = ri$; μ est une fonction de i, car la perméabilité dépend de l'intensité de la force magnétisante. Nous allons maintenant introduire dans cette dernière équation les constantes du câble ; λ est sa longueur ; D, le diamètre d'un toron de cuivre et d, l'épaisseur du fil de fer, dont les spires sont aussi rapprochées que possible les unes des autres. Le diamètre d'un anneau est dans ce cas $\mathrm{D} + d$ environ ; de sorte qu'on peut écrire $l = \pi\,(\mathrm{D} + d)$; il y a sur la longueur λ du câble $\frac{\lambda}{\delta}$ anneaux semblables, en sorte que l'expression (1) doit être multipliée par ce nombre ; quant à s, sa valeur est $\frac{\pi\delta^2}{4}$. On parvient, en définitive, à l'équation fondamentale :

$$\mathrm{E} - 0{,}1\,\pi\mathrm{K}\,\frac{\lambda\delta}{\mathrm{D}+\delta}\,\frac{d(\mu i)}{dt} = ri. \qquad (3)$$

Appliquons ce résultat à la ligne de Laaland à Fehmarn ; $\mathrm{D} = 0{,}4$ cm ; $\delta = 0{,}03$ cm ; $\lambda = 10^5$ cm (un kilomètre) ; $\mathrm{K} = 10^{-8}$; nous supposerons μ constant et égal à 80, ce qui correspond assez bien, d'après Ewing, à une intensité de courant de 0,002 ampère. Ces nombres, introduits dans l'équation (3), donnent :

$$\mathrm{E} - 0{,}1\,\pi\,10^{-8}\,\frac{10^5 .\, 0{,}03}{0{,}4 + 0{,}03}\,80\,\frac{di}{dt} = ri;$$

le coefficient de $\frac{di}{dt}$ représente le coefficient de self-induction pour 1 km de câble. Tous calculs faits, on trouve $\mathcal{L} = 0{,}002$ au lieu de 0,0025 par la mesure directe.

Ce calcul n'est qu'une approximation grossière, car μ est une fonction inconnue de i et de la fréquence ; cependant, dans toutes les mesures, la valeur du coefficient de self-induction semblait indépendante de la période du courant. On aurait obtenu des résultats bien plus beaux en employant du gros fil de fer ou, mieux encore, plusieurs couches de fil fin ; mais ce procédé a l'inconvénient d'augmenter la capacité, qu'on peut calculer par la formule $\mathrm{C} = \frac{k}{2 .\,\mathrm{Log.}\,\frac{\mathrm{R}}{0{,}5\,\mathrm{D} + \delta}}$, où k est la constante diélectrique et R le rayon maximum. On compensera cet accroissement de la capacité en

faisant croître R dans le même rapport que $0{,}5\,D + \delta$.

D'après l'équation (3), la valeur du coefficient de self-induction ne dépend que du rapport $\frac{\delta}{D+\delta}$ ou $\frac{1}{1+\frac{D}{\delta}}$; il est donc théoriquement possible, en faisant croître R suivant la loi indiquée plus haut, d'atteindre pour ce coefficient $\mathcal{L}$ des valeurs infinies. Or rendre R plus grand revient tout simplement à utiliser du fil plus gros ; par exemple, avec $\delta = 1{,}2$ mm, on aurait eu $\mathcal{L} = 0{,}006$ Henry au lieu de 0,002. Cette méthode conduirait donc à des améliorations comparables à celles annoncées par Pupin, sans avoir toutefois l'inconvénient de majorer la résistance ohmique du câble.

Une discussion plus approfondie du rapport $\frac{\delta}{D+\delta}$ nous montre encore que $\mathcal{L}$ croît proportionnellement à δ, tant que δ est petit vis-à-vis de D ; cette expression servira donc de terme de comparaison pour des câbles de sections différentes, mais parcourus par des courants de même intensité et de même fréquence. On remarquera, enfin, que le coefficient de self-induction croît d'autant moins vite avec δ que δ est plus grand ainsi que le rapport $\frac{C}{\mathcal{L}}$; celui-ci, à son tour, diminue d'autant moins vite quand on augmente $\mathcal{L}$, que $\mathcal{L}$ a déjà une valeur élevée ; or c'est précisément ce rapport qui figure dans l'expression de la constante d'atténuation

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{\mathcal{L}}}.$$

De cette discussion nous pouvons tirer les conclusions suivantes : dans la pratique, le coefficient de self-induction atteint bien vite une valeur limite maxima, quel que soit le système adopté. Dans la méthode de Krarup, en effet, les aimantations successives du fer donnent lieu à des pertes d'énergie par hystérésis considérables ; tandis que c'est la résistance ohmique qui joue le rôle prépondérant dans la méthode de Pupin. Il est donc illusoire de prétendre compenser les effets nuisibles de la capacité en introduisant une inductance artificielle dans le câble. C'est dans une autre voie, semble-t-il, qu'il faut chercher des perfectionnements aux transmissions téléphoniques.

Action d'une inductance uniformément répartie sur le pouvoir de transmission des câbles téléphoniques, par **F. Dolezalek** et **A. Ebeling**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIX, p. 770, 17 septembre 1903.

I. Théorie. — *Calcul du coefficient de self-induction.* — Considérons un câble téléphonique à deux torons, aller et retour. Soit a le rayon du cuivre ; b le rayon extérieur de l'enveloppe de fil de fer, et c la distance d'axe en axe des deux torons. Prenons sur ce réseau, d'étendue infinie, une longueur de 1 cm que nous supposerons parcourue par un courant de 1 unité C. G. S. Le coefficient de self-induction de cet élément sera donné par le nombre de lignes de forces qui se développent entre les axes des deux âmes.

Or ce champ dû, moitié au conducteur d'aller, moitié au conducteur de retour, résulte : 1° du champ dans l'air ou la couche isolante, compris entre la surface extérieure de l'enveloppe de l'un des conducteurs et l'axe du deuxième ; 2° de l'induction dans la carcasse en fer et 3° du champ dans le cuivre lui-même. Nous ne tenons pas compte de ce fait que les lignes de force émanées de l'un des torons et qui ont passé dans l'air traversent en partie l'enveloppe de l'autre ; pratiquement, on peut les négliger. D'après la loi de Biot et Savart, l'intensité $\mathcal{H}$ du champ dû au conducteur I et à une distance x de son axe est : $\mathcal{H} = \frac{2i}{x}$, ou $\mathcal{H} = \frac{2}{x}$, puisque, par hypothèse, $i = 1$. Le flux de force qui traverse un rectangle d'épaisseur dx et de longueur l (longueur du câble) est $\mathcal{H}l\,dx = \frac{2l\,dx}{x}$. Le flux total, compris entre l'enveloppe du conducteur I et l'axe du conducteur II sera donc :

$$2l\int_b^c \frac{dx}{x}\ 2l\,\mathrm{Log}\,\frac{c}{b}.$$

Le conducteur II conduit à la même relation ; le flux résultant de l'action des deux conducteurs est représenté par

$$4\,\mathrm{Log}\,\frac{c}{b}.$$

Pour évaluer le flux compris en dedans des enveloppes, il suffit de multiplier l'expression précédente par μ, perméabilité du fer, et de prendre a et b comme limites de l'intégrale. D'où l'expression du deuxième champ compo-

Digitized by Google

sant :

$$4\mu \operatorname{Log} \frac{b}{a}.$$

Dans le cuivre, l'intégration ne s'étend plus au courant I tout entier, mais seulement à la fraction $\frac{x^2}{a^2}$. On aura donc le troisième champ composant par l'intégrale :

$$4l \int_0^a \frac{x^2}{a^2} \frac{dx}{x} = 2l.$$

La somme de ces trois expressions donne le coefficient de self-induction de la ligne entière en unités C. G. S. :

$$4l \left[\operatorname{Log} \frac{c}{b} + \mu \operatorname{Log} \frac{b}{a} + 0{,}5 \right] \text{cm}.$$

Nous transformerons cette expression en prenant les logarithmes vulgaires à la place des logarithmes népériens et en exprimant le coefficient de self-induction en millihenry par kilomètre :

$$\mathfrak{L} = 0{,}921 \log \frac{c}{b} + 0{,}921\, \mu \log \frac{b}{a} + 0{,}20 \text{ millihenry km.} \quad (1)$$

Dans les enveloppes en fils de fer de plus de 0,2 mm d'épaisseur, la valeur du second terme surpasse de beaucoup celle des deux autres : aussi peut-on se contenter de la formule approchée :

$$\mathfrak{L} = 0{,}921\, \mu \log \frac{b}{a} \text{ millihenry km ;} \quad (2)$$

qui met bien en évidence l'accroissement du coefficient de self-induction dû à la présence de l'enveloppe magnétique ; mais, comme $\mathfrak{L}$ varie proportionnellement au logarithme de b, on atteint vite une limite de ce dernier rayon, au delà de laquelle il n'y a plus aucun avantage pratique à augmenter le diamètre de l'enveloppe.

2. *Calcul de la capacité.* — Mais cette méthode a le grave inconvénient d'augmenter aussi la capacité ; et on sait que son influence est capitale dans l'amortissement des ondes. Calculons donc la capacité d'un câble équipé d'après le système Krarup ; cette capacité résulte de trois condensateurs formés : 1° par les deux torons de cuivre et leur enveloppe respective, soit C_1 la capacité correspondante ; 2° par les deux enveloppes, soit C_2 la capacité correspondante ; on peut écrire :

$$\frac{1}{C} = \frac{2}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

C_1 est toujours très grand par rapport à C_2, on peut donc négliger $\frac{2}{C^1}$ devant $\frac{1}{C_2}$, et il vient : $C = C_1$. La capacité est la même que celle d'un câble qui n'aurait pas d'enveloppe, mais dont le cuivre aurait un diamètre précisément égal à celui de cette enveloppe. D'après la formule connue du condensateur cylindrique, on a :

$$C = \frac{0{,}01207\, K}{\log \frac{c}{b}} \text{ microfarad : km.} \quad (3)$$

La présence de la carcasse magnétique produit donc un accroissement de la capacité dans le rapport : $\log \frac{c}{a} : \log \frac{c}{b}$.

3° *Influence de l'enveloppe de fer sur l'amortissement des ondes téléphoniques.* — Nous avons établi antérieurement [1] le rapport $\frac{I_a}{I_d} = 2\, e^{-\beta l}$, où I_d représente le courant au départ ; I_a, le courant à l'arrivée ; e, la base des logarithmes Népériens; l, la longueur totale du réseau et β, la constante d'atténuation, égale à $\frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{\mathfrak{L}}}$ (4). La discussion de ces formules montre que, pour les enveloppes de petit diamètre, la valeur de $\mathfrak{L}$ surpasse de beaucoup celle de C et il y a diminution de β. L'inverse a lieu avec les enveloppes de grand diamètre, de sorte que la présence de celle-ci est plutôt nuisible. Cherchons quel diamètre il convient de choisir pour amener la constante d'atténuation à un minimum. Pour cela, nous remplaçons, dans (4), $\mathfrak{L}$ et C par leurs valeurs tirées de (2) et (3) ; il vient

$$\frac{1}{\beta^2} = \text{constante} \times \log \frac{c}{b} \times \log \frac{b}{a}.$$

Différentions par rapport à b :

$$\frac{\partial \left(\frac{1}{\beta^2} \right)}{\partial b} = \text{constante} \times \frac{1}{b} \left[\log \frac{c}{b} - \log \frac{b}{a} \right].$$

(1) *Écl. Élect., loc. cit.*

Digitized by Google

En égalant à o le second membre, on trouve, pour le minimum de β (maximum de $\frac{1}{\beta^2}$), la relation simple :

$$\log \frac{c}{b} = \log \frac{b}{a}.$$

ou

$$b = \sqrt{ac}. \qquad (5)$$

Au lieu de la formule approchée (2), si nous avions employé la formule exacte (1) de $\mathfrak{L}$, nous aurions été conduits à la relation

$$b^{2\mu+2} = c^{\mu+2}.\ a^{\mu},$$

correspondant au minimum de β ; or, en négligeant 2 devant μ, nous retombons sur l'expression (5).

La capacité donnée par la formule (3) devient, par substitution de $\sqrt{ac}$ à b,

$$C' = \frac{0{,}01207\ K}{\log \frac{c}{\sqrt{ac}}} = 2.\ \frac{0{,}01207\ K}{\log \frac{c}{a}}, \qquad (6)$$

c'est-à-dire que, *dans le cas le plus favorable, la capacité prend une valeur double de celle qu'elle aurait sans l'enveloppe de fil de fer.*

Remplaçons de même b par $\sqrt{ac}$ dans (2) ; nous aurons, pour le coefficient de self-induction maximum qu'on peut obtenir avec une inductance uniformément répartie sur le câble,

$$\mathfrak{L}' = \frac{0{,}921}{2}\ \mu \log \frac{c}{a} \text{ millihenry : km.} \qquad (7)$$

Or le second membre, sans le facteur $\frac{1}{2}$, représente le coefficient de self-induction qu'on obtiendrait si le milieu qui entoure les torons était complètement rempli de fer ; le coefficient le plus favorable est donc la moitié du coefficient maximum réalisable.

Dans les expériences rapportées ci-dessous, on a constaté que la valeur de la perméabilité μ pouvait croître jusqu'à 130 pour une enveloppe de fer. A l'aide de cette valeur limite on a dressé le tableau I qui donne les valeurs de $\mathfrak{L}'$ les plus favorables pour différentes valeurs de a et c ; celles-ci ont d'ailleurs été choisies de telle sorte que la distance entre les surfaces extérieures des cuivres, c'est-à-dire $c - 2a$, fût toujours égale à 2 mm.

Tableau I

a	c	$b = \sqrt{ac}$	$\mathfrak{L}'$	
mm.	mm.	mm.	Henry.	
0,5	3	1,22	0,046	
1	4	2,0	0,035	Par kilomètre
1,50	5	2,7	0,031	de conducteur
2,00	6	3,5	0,028	double.
2,50	7	4,1	0,026	

Nous aurons aussi une formule donnant la valeur minima de la constante d'atténuation en remplaçant C et $\mathfrak{L}$ par C' et $\mathfrak{L}'$ dans (4) ;

$$\beta_{\text{min.}} = 0{,}00362 \frac{R}{\log \frac{c}{a}} \sqrt{\frac{K}{\mu}}. \qquad (8)$$

Pour les câbles téléphoniques isolés au papier ou à l'air K = 1 ; avec la gutta-percha K = 3 environ. Dans le tableau II sont réunies les valeurs minima de β pour les mêmes câbles que ceux employés dans le tableau I et en supposant K = 1.

Tableau II

a	R	β	
		avec enveloppe.	sans enveloppe.
mm.	ohms.		
0,50	44,0	0,018	0,043
1	11,0	0,0058	0,021
1,50	4,9	0,0030	0,013
2,00	2,75	0,0018	0,0082
2,50	1,76	0,0013	0,0057

Les nombres de la dernière colonne se rapportent à un câble non équipé et ont été calculés au moyen de la formule

$$\beta = \sqrt{\pi f C \{\sqrt{(2\pi f \mathfrak{L})^2 + R^2} - 2\pi f \mathfrak{L}\}}$$

où f = 1 000 (fréquence) ; car la formule (4) n'est plus applicable à des lignes de si faible inductance. Si on veut avoir les valeurs de β dans le cas où l'isolant est de la gutta, il suffira de multiplier les nombres des deux dernières colonnes par $\sqrt{K} = \sqrt{3} = 1{,}7$.

Tous les nombres donnés ci-dessus sont des limites théoriques, dont on s'approchera plus ou

Digitized by Google

moins dans la pratique. On a, en effet, dans le calcul de la capacité du réseau, négligé l'influence réciproque des torons voisins entre eux ainsi que de l'armature en plomb ; or, cette approximation n'est légitime que dans le cas où la distance des conducteurs est un multiple exact de leur distance comptée d'axe en axe. Pour satisfaire à ces conditions, il faudrait employer des câbles d'une grosseur exagérée qui entrainerait à des dépenses considérables.

II. Mesures. — Elles ont été exécutées sur des câbles de quelques centaines de mètres de longueur, spécialement préparés dans cette intention. Le coefficient de self-induction se déterminait par la méthode du pont à courant alternatif avec le téléphone comme instrument de zéro ; pour cela, les conducteurs d'aller et retour étaient mis en court-circuit à un de leurs terminus ; on insérait les deux extrémités libres dans l'un des bras du pont, tandis que le bras voisin recevait une bobine étalon d'inductance.

On remarquera que la capacité du câble intervient toujours dans la mesure du coefficient de self-induction ; mais il est facile de démontrer qu'entre la valeur mesurée $\mathcal{L}_1$ et la valeur réelle $\mathcal{L}$, la capacité C, la résistance R et la pulsation ω, on a la relation :

$$\mathcal{L}_1 = \frac{\mathcal{L} - \omega^2 C \mathcal{L}^2 - CR^2}{(1 - \omega^2 C \mathcal{L})^2 + \omega^2 C^2 R^2}.$$

Dans les câbles expérimentés C et R sont très petits ; le terme CR^2 seul influence le résultat de plus de 1 p. 100 (15 p. 100 dans les cas les plus défavorables) ; aussi peut-on se contenter de la formule approchée

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 + CR^2.$$

1. *Vérification de la formule* (1). — Deux fils de cuivre de 2,5 mm de diamètre sont recouverts de plusieurs couches de fil de fer de 0,7 mm d'épaisseur à spires très serrées ; ici les axes des cuivres sont distants de 31,5 mm. Après chaque nouvelle couche, on procédait à une mesure du coefficient de self-induction ; les nombres relevés sont résumés dans le tableau III. La dernière colonne représente la valeur de $\mathcal{L}$ calculée par la formule (1) avec $\mu = 62$, cette valeur de μ étant déduite des mesures directes de $\mathcal{L}$.

Tableau III

	b	$\mathcal{L}$ en henry par kilomètre	
		mesuré.	calculé.
	mm.		
Sans fer.	—	0,00152	0,00150
1 couche de fil de fer.	2,0	0,0126	0,0129
2 — —	2,65	0,0200	0,0198
3 — —	3,35	0,0257	0,0255
4 — —	3,95	0,0302	0,0294
5 — —	4,50	0,0342	0,0327

La concordance entre l'observation directe et le calcul ne laisse rien à désirer ; le nombre 62 trouvé pour la perméabilité de l'enveloppe semble seul un peu trop faible.

D'après le professeur Wien cet affaiblissement de la perméabilité proviendrait de l'écrouissage que subit le fil au moment de l'enroulement et qui lui ferait perdre une grande partie de ses qualités magnétiques. Le recuit lui rend d'ailleurs toutes ses propriétés, comme l'ont vérifié les auteurs ; en chauffant l'enveloppe après la pose de la 5e couche, ils ont constaté un accroissement de la self-induction de 0,0342 à 0,067 henry. La valeur maxima trouvée pour la perméabilité a été 129.

L'emploi d'un fil de fer de 0,7 mm d'épaisseur n'est pas à recommander, à cause des pertes considérables dues aux courants de Foucault. A titre de vérification, on a mesuré la résistance de l'enveloppe avec du courant continu et du courant alternatif de 900 périodes à la seconde ; on a trouvé pour résistances respectivement 5,5 et 83 ohms par kilomètre ; mais les mêmes conducteurs de cuivre équipés avec du fil de fer de 0,15 mm, en deux couches, ont donné un coefficient de self de 0,0121 henry et une impédance de 6,3 ohms seulement, avec un courant alternatif de 900 périodes à la seconde ; dans ce cas $\mu = 124$.

Il restait encore à établir l'influence du pas des spires. A cet effet, on a enroulé, autour de plusieurs paires de câbles isolés au papier et de quelques centaines de mètres de longueur, du fil de fer dont on faisait varier le diamètre et le nombre de tours.

Les résultats sont consignés dans les tableaux IV et V.

Digitized by Google

TABLEAU IV

NUMÉRO du câble.	CABLES ISOLÉS AU PAPIER avec fil de cuivre de 0,8 mm.	PAR KILOMÈTRE DE CONDUCTEUR DOUBLE				ACCROISSEMENT de la résistance pour un courant alternatif de fréquence 900.
		Poids du fer.	Résistance.	Capacité mutuelle.	Self-induction.	
		kg.	ohms	microfarads.	Henrys.	en p. 100.
1	Construction ordinaire sans fer. .	--	61,0	0,031	0,84	0
2	Fil de fer de 0,15 mm ; 610 spires par mètre.	0,50	63,4	0,034	1,41	0
3	Toron à 4 brins de fil de fer de 0.15 mm ; 600 spires par mètre.	2,40	63,4	0,014	3,38	0
4	Toron à 14 brins de fil de fer de 0,15 mm ; 530 spires par mètre.	7,60	65,0	0,042	6,77	0,5
5	Fil de fer de 0,5 mm ; 820 spires par mètre.	9,64	59,4	0,045	7,49	1,6
6	Fil de fer de 0,5 mm ; 1 350 spires par mètre.	14,6	64,4	0,065	12,1	3,0

NUMÉRO du câble.	CABLES ISOLÉS AU PAPIER avec fil de cuivre de 1,5 mm.	PAR KILOMÈTRE DE CONDUCTEUR DOUBLE				ACCROISSEMENT de résistance pour un courant alternatif de fréquence 900.
		Poids du fer.	Résistance.	Capacité.	Self-induction.	
		kg.	ohms.	microfarads.	Henrys.	en p. 100.
1	Construction ordinaire sans fer. .	—	17,64	0,044	0,63	—
2	Toron à 14 brins de fil de fer de 0.15 mm ; 500 spires par mètre.	11,10	18,46	0,054	5,06	1,5
3	Fil de fer de 0,5 mm ; 1 040 tours par mètre.	14,56	17,70	0,057	5,92	6

Comme le montre la deuxième colonne dans ces deux tableaux, le coefficient de self-induction croit proportionnellement au poids du fer ; il est encore d'autant plus grand que les spires sont plus resserrées, mais alors il y a une augmentation considérable de la capacité.

Dans ces derniers essais, on n'a pas recuit le fer.

III. COMPARAISON ENTRE LES DEUX SYSTÈMES. — L'avantage principal du système Pupin réside en ce que l'insertion de bobines ne provoque pas un accroissement sensible de la capacité du câble ; laquelle est, au contraire, fortement exagérée par l'application du système Krarup. Aussi, dans ce dernier cas, la self-inductance artificielle atteint-elle bien vite une limite supérieure ; on ne peut donc pas compter sur une réduction vraiment appréciable de la constante d'atténuation.

D'ailleurs un même poids de fer donne une inductance bien plus grande sous forme de bobines que sous forme d'enveloppe. Un exemple numérique fera mieux ressortir les avantages du système Pupin. Nous en empruntons les éléments à la première ligne horizontale du tableau I : câble isolé au papier, fil de cuivre de 0,1 mm d'épaisseur, distance d'axe en axe $c = 3$ mm. En appliquant la formule (7), on a trouvé $\mathcal{L} = 0{,}046$ henry pour un kilomètre de conducteur double. Avec la formule (6) on peut calculer la capacité de ce même câble qui est de :

0,0910 microfarad par kilomètre avec enveloppe
0,0155 — — sans —

Insérons maintenant dans ce câble, débarrassé de son enveloppe magnétique, des petites bobines d'inductance de 0,1 henry et 2 ohms, distantes de 1 km ; on trouve $\mathcal{L} = 0{,}2$ henry par kilomètre de conducteur double. La formule (4) donne pour la constante d'atténuation :

$\beta = 0{,}018$ pour le câble à enveloppe magnétique
$\beta = 0{,}0066$ — à bobines,

Digitized by Google

c'est-à-dire que cette constante est trois fois moindre dans le second cas que dans le premier, et nous sommes loin de nous être placés dans les conditions les plus avantageuses au système Pupin. En se reportant à l'expression qui relie le courant au départ, I_d, et le courant à l'arrivée I_a à la longueur du câble, et à la constante d'atténuation, $\frac{I_a}{I_d} = 2\, e^{-\beta l}$, on voit que la portée de la transmission varie en raison inverse de β; cette portée sera donc, d'après l'exemple ci-dessus, trois fois plus grande avec le câble Pupin qu'avec le câble Krarup.

On peut encore rendre plus tangible la supériorité du premier système sur le second de la manière suivante. Si on détermine, à l'aide de (2), l'épaisseur qu'il convient de donner à la couche de fer pour atteindre une self-induction de 0,2 henry, on trouve $b = 23{,}5$ mm, de sorte que toute la partie métallique aurait un diamètre de 48 mm et il faudrait 17 000 kg de fer par kilomètre de conducteur double. En se plaçant même dans les conditions les plus favorables exprimées par l'égalité (5) et en se contentant d'un coefficient de self-induction de 0,046 henry, on aurait encore $2\ b = 2{,}44$ mm, soit 0,72 mm pour l'épaisseur du fer. La préparation d'une telle enveloppe exigerait donc 38 kg de fer par kilomètre de conducteur double alors que le cuivre pèserait 14,1 kg seulement; il y aurait un accroissement de poids 3,7 fois plus fort par rapport au cuivre seul.

Si nous passons au système Pupin, nous voyons que, pour produire un coefficient de self-induction de 0,2 henry, il faut 0,7 kg de fer et environ 0,4 kg de cuivre.

Il a donc incontestablement plus d'avantages, non seulement au point de vue de la portée des transmissions, mais encore au point de vue de l'économie de la matière première. Son application aux câbles souterrains ou sous-marins ne présente pas, d'ailleurs, de difficultés insurmontables.

T. P.

DIVERS

La susceptibilité magnétique des dissolutions des sels de fer et de manganèse dépend-elle de l'intensité du champ, par **A. Heydweiller**. *Drude's Annalen*, t. XII, p. 608-621, octobre 1903.

En répétant les expériences de Silow dans des conditions plus exactes, l'auteur a trouvé que la susceptibilité magnétique de ces dissolutions reste constante à 10 p. 100 quand l'intensité du champ varie de 0,1 à 1,2 C. G. S.

Les résultats obtenus dans les champs intenses (1 à 40 000) sont assez discordants. Il semble qne la susceptibilité du chlorure ferrique varie peu, celle des chlorures manganeux et ferreux, davantage et que pour le sulfate ferreux, la variation peut atteindre 30 à 40 p. 100.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 20 novembre 1903.

M. **Nordmann** expose sa ***Théorie des aurores boréales,*** déjà connue de nos lecteurs [1]. Rappelons que l'auteur admet l'existence de vibrations hertziennes émanées du soleil et provoquant des phénomènes cathodiques dans les couches raréfiées de l'atmosphère terrestre. Cette hypothèse rendrait compte de la périodicité diurne, annuelle et andécennale.

(1) *Ecl. Elect.*, XXXVI, p. 79, 11 juillet 1903, et XXXI, p. 153, 26 avril 1902.

Séance du 4 décembre 1903.

M. **Bouty** expose ses recherches sur la ***Cohésion diélectrique des gaz et la température.*** — Nos lecteurs connaissent déjà le résultat essentiel de ces travaux [1] : *A volume constant*, c'est-à-dire dans les conditions mêmes où

(1) L'*Eclairage Electrique*, XXXVI, p. 232, 8 août 1903.

Digitized by Google

ont été faites les expériences, *la cohésion diélectrique*, mesurée par la valeur du champ qui provoque une décharge à travers le gaz, *est indépendante de la température*.

Au-dessous de 0°, M. Bouty est descendu jusqu'à — 100° au moyen d'air liquide, circulant dans un serpentin percé de petits trous, contenu dans une caisse de 100 litres de capacité. 5 litres d'air liquide suffisent pour abaisser la température à — 100°, ce qui représente une dépense de 20 fr. Il est nécessaire, pour chasser toute trace d'électrisation du ballon, de le sortir de l'enceinte et de le chauffer ; on peut exécuter cette opération, sans que la température se relève trop, grâce au volant de chaleur que présente la masse totale refroidie ; dans une expérience, le chauffage a fait passer la température finale de — 70° à — 35°.

Au-dessus de 0°, les expériences sont compliquées par la conductibilité du verre, qui apparaît dès 100°. C'est ainsi qu'après avoir obtenu, entre la température ordinaire et 91°, quatre valeurs du champ critique différant de 1890 de quelques unités seulement, on a trouvé, à 109°, le nombre 2 239. M. Bouty explique comment les particularités de son dispositif rendent compte de ces faits et comment il a vérifié son hypothèse relative à l'influence de la durée de la charge en interposant sur le circuit une grande résistance. La valeur du champ critique apparent, qui est d'abord constante jusqu'à une températuce t_0, croît ensuite suivant une loi exponentielle $a^{(t-t_0)}$; cette valeur critique t_0 dépend uniquement de la nature du verre du ballon et la constance de la cohésion diélectrique doit vraisemblablement se maintenir jusqu'à la température du rouge ; à très basses températures la loi n'est probablement en défaut qu'au voisinage immédiat de la liquéfaction ; à — 70°, sous la pression de 4,5 cm, l'acide carbonique ne présente rien d'anormal. Une constante des gaz reste invariable avec le volume, c'est l'indice, relié à la densité par la la loi $\frac{n-1}{D}=k$; d'autre part on a, d'après Maxwell, $K=n^2$. On conçoit que, la constante diélectrique d'un gaz étant fonction du seul volume, la valeur du champ qui triomphe de cette cohésion ne dépende également que du volume.

M. Bouty a commencé l'étude de la *cohésion diélectrique de l'argon*. Ce gaz présente des propriétés toutes particulières ; sa cohésion diélectrique est environ trois fois plus faible que celle de l'hydrogène. Dans des conditions où l'on trouve pour H le nombre 205, on obtient pour l'argon 67. Avec la batterie de 16 000 volts, qui fait passer une décharge dans de l'hydrogène jusqu'à la pression de 10,8 cm, on peut aller, en opérant sur l'argon, jusqu'à 31 cm.

Ces propriétés doivent être rapprochées des observations de MM. Ramsay et Collie, qui ont montré que la distance explosive, dans les mêmes conditions, est beaucoup plus grande dans l'argon que dans l'hydrogène (45 cm au lieu de 39,5). Natterer avait constaté que l'étincelle traverse beaucoup plus facilement la vapeur de mercure que les autres gaz. L'argon et le mercure sont tous deux monoatomiques ; on peut donc considérer comme établi que, dans les éléments monoatomiques, la cohésion diélectrique est beaucoup plus faible que dans les autres.

M. Cotton rappelle d'autres propriétés singulières de l'argon. Son indice est très élevé, relativement à sa densité ; il oppose aux rayons Rœntgen une opacité considérable. Peut-être y a-t-il un lien entre l'opacité et la propriété découverte par M. Bouty.

M. Langevin rappelle que l'étude de la décharge électrique a fourni des résultats qui, pour être moins précis, s'accordent toutefois avec ceux de M. Bouty. M. Stark a constaté que, dans un tube de Crookes, si la densité du gaz reste constante, la chute de potentiel cathodique, entre la cathode et la gaine lumineuse qui l'entoure, est indépendante de la température, même quand la cathode atteint le rouge blanc. Ceci s'interprète, dans la théorie des ions, en disant que l'énergie nécessaire pour dissocier une molécule gazeuse en deux ions, l'un positif, l'autre négatif, est indépendante de la température. Ce fait est confirmé par les expériences récentes de M. Mac Clung qui montrent que l'ionisation produite par les rayons X à densité constante est indépendante de la température.

Cette énergie de décomposition est variable d'un gaz à l'autre. L'absorption est liée à l'ionisation et la grandeur de l'absorption est corrélative de la faible valeur de l'énergie d'ionisation. Cette énergie, qu'on peut déterminer par plusieurs procédés, qui fournissent des nombres

Digitized by Google

assez concordants, est beaucoup plus grande que l'énergie thermique provenant des mouvements internes dus à la température. Pour une molécule d'hydrogène, elle est 10^{-11} erg, tandis que l'énergie thermique est 10^{-16} erg; il n'est donc pas surprenant que la température soit sans influence. D'autres phénomènes, liés à la molécule elle-même, apparaissent comme indépendants de la température; ce sont l'amortissement de l'intensité de la radiation du radium et la quantité de chaleur dégagée par le radium, laquelle conserve la même valeur qu'à la température ordinaire, même quand le radium est dans l'hydrogène liquide, comme l'a montré M. Curie.

M. Bouty ajoute que, dans la théorie des ions, la force vive communiquée à un ion par un champ uniforme, dans ses expériences où la densité est constante, entre deux chocs successifs, doit rester elle-même constante, comme le trajet moyen des molécules.

M. Victor Henry présente le procédé de ***Photographie par catalyse*** ou ***catatypie***, inventé par M. Ostwald.

Citons seulement une des nombreuses expériences répétées devant la Société. On verse sur une épreuve positive au platine une dissolution d'eau oxygénée dans l'éther, on laisse évaporer et on applique pendant quelques instants, sur l'épreuve, un papier gélatiné; ce papier, plongé dans une dissolution contenant du manganèse, se colore instantanément en brun et donne la reproduction de l'épreuve positive.

M. C.-Ed. Guillaume parle des ***Propriétés des aciers au nickel***.

Nous renverrons aux deux notes déjà publiées par M. Guillaume [1] et à ses articles de la *Revue générale des Sciences* (Juillet et Août). Signalons toutefois un fait d'intérêt général : l'emploi d'un acier au nickel pour la fabrication des balanciers de montre permet d'obtenir immédiatement la constance qui n'appartenait autrefois qu'aux balanciers compensés, soit une marche de douze secondes par jour; le prix de revient se trouve ainsi dégrevé des frais notables de la retouche, toujours nécessaire pour ces balanciers. C. R.

[1] *L'Eclairage Electrique*, XXXVI, p. 199, 1er août 1903, et p. 238, 8 août 1903.

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 21 avril 1903.

Le transport des marchandises par les tramways électriques, par **Alfred H. Gibbings**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 1057-1078, août 1903.

Les chemins de fer et les canaux conviennent mieux aux longs transports qu'aux courts. Si la circulation des marchandises entre des points éloignés y augmentait, tandis que le trafic local diminuerait, on pourrait réduire les taxes appliquées aujourd'hui. D'autre part, ni chemins de fer ni canaux ne seront jamais susceptibles d'une extension telle qu'ils puissent dispenser d'employer des charrettes ou autres véhicules pour la réunion et la distribution des marchandises, et ce sont ces charges qui rendent si élevé le prix du transport.

Qu'il s'agisse de chemins de fer, de routes ou de canaux, les transports courts ont à supporter une plus forte proportion de « charges fixes » que les longs. Ces charges fixes comprennent un intérêt élevé sur le matériel roulant, les courts trajets ne laissant qu'un faible bénéfice, des frais relativement lourds de manutention et de transbordement, des frais de magasinage, etc.

L'auteur se propose de montrer ici comment on peut abaisser les frais de transport des marchandises en utilisant les tramways électriques et les chemins de fer économiques. En parlant de « courte distance », il entend une distance inférieure à 80 km, et particulièrement les distances comprises entre 8 et 50 km.

Il faut d'abord que la région à desservir soit vaste et couverte par des réseaux de tramways d'une largeur de voie uniforme. Le sud du Lancashire répond bien à ces conditions : cette contrée est desservie par une vingtaine de réseaux de tramways, urbains et suburbains, reliés entre eux, parmi lesquels se trouvent ceux de Liverpool, de Manchester, de Bolton, de Oldham, etc. Le transport des marchandises sur ces tramways a déjà donné naissance à un certain nombre de projets et de communications.

Système actuel et prix des transports. — Le transport des marchandises se fait aujourd'hui par chemins de fer, par canaux, par automobiles et par véhicules à chevaux. Les transports

Digitized by Google

locaux (de la gare ou des quais du canal aux usines et aux magasins) s'effectuent le plus souvent par des camions à chevaux.

Dans la région citée (sud du Lancashire), la circulation des marchandises est énorme, aussi le matériel de camionnage est-il considérable. A Liverpool, 5 000 chevaux sont uniquement employés à transporter les marchandises des docks aux gares de chemin de fer, la distance moyenne étant d'environ 3 km. Quand les camions chargés arrivent à la gare, il n'est pas toujours commode d'en transborder immédiatement les marchandises dans les wagons, aussi les dépose-t-on provisoirement sous le hangar. C'est ainsi qu'il faut deux et parfois trois manutentions avant que le transport par chemin de fer soit seulement commencé, ce qui grève les marchandises de « frais de garage ». Les mêmes faits se reproduisent à l'arrivée, entraînant de nouvelles dépenses et de nouveaux retards.

Les frais de cette nature sont surtout très lourds pour les transports à courte distance.

Avec la traction électrique par trôlet aérien, on réduira le coût des manutentions, on évitera les frais de garage et autres les plus onéreux et, au moins à l'une des extrémités du trajet, le camionnage. En outre, le poids moyen transportable par voiture-kilomètre sera plus élevé et le capital immobilisé plus faible. On est arrivé, par des calculs détaillés, à la conclusion que le prix du transport ainsi effectué serait de 50 p. 100 plus bas que le prix exigé par les Compagnies de chemins de fer, tout en laissant une marge suffisante aux bénéfices.

Système proposé pour les manutentions et le transport. — Un projet de transport de marchandises pour une région comme celle du sud du Lancashire devra remplir les conditions suivantes :

1° Les marchandises seront chargées directement dans les docks, magasins ou entrepôts et déposées, sans autre transfert, à leur dernière destination;

2° Pour réaliser la condition précédente, on construira des voies de manœuvre pénétrant dans les entrepôts, les usines, etc. ;

3° Le transit entre le lieu d'embarquement et la destination se fera sans arrêt;

4° S'il est nécessaire, le service se fera de jour et de nuit sans aucune interruption à l'exclusion peut-être des samedis, dimanches et fêtes. Ces jours-là même, en cas de besoin urgent, le service aura lieu;

5° Les transports ne devront pas nécessiter de triages; on évitera donc les longs convois. On n'attellera pas ensemble plus de deux ou trois wagons;

6° On emploiera, pour toutes les catégories de marchandises, des wagons d'un ou deux types spéciaux;

7° Le service sera prompt, mais sans entraîner nécessairement une grande vitesse;

8° On prendra les dispositions utiles pour faciliter le transbordement en masse des marchandises entre les véhicules de la ligne électrique et les wagons du chemin de fer ou les camions à chevaux.

9° La ligne servant au transport des marchandises ne devra pas entraver le transport des voyageurs ni la circulation sur les routes.

10° On ne sera pas obligé de modifier les pentes des routes actuellement tracées.

11° La charge maxima de chaque véhicule ne sera pas inférieure à neuf tonnes.

12° Les tarifs seront économiques; ils devront se rapprocher plutôt de ceux d'Amérique et du Continent que des tarifs actuels des chemins de fer anglais.

Parmi ces conditions, une des plus essentielles est la suppression des chargements et déchargements de marchandises entre les points de départ et d'arrivée. En d'autres termes, chaque fois qu'un transbordement est nécessaire, il doit se faire en masse et non en détail. Certaines Compagnies de chemins de fer ont déjà fait quelques tentatives dans ce sens. Celle du « South Eastern Railway » a un système spécial pour transporter les marchandises, les bagages de voyageurs, etc., entre Londres et diverses parties du Continent, sans avoir à les décharger : c'est un fourgon que l'on place sur un truck de chemin de fer, d'où on l'enlève au moyen d'une grue et de câbles d'acier pour le déposer sur le pont du paquebot, ou *vice-versa*.

L'auteur propose d'appliquer ce système aux transports de marchandises par lignes électriques. Le wagon à caisse détachable qu'on emploierait aurait les dimensions suivantes, mises en regard de celles du wagon de chemin de fer et du camion à chevaux.

Digitized by Google

Wagon de ligne électriqne. . .	6,6 m × 1,95 m
Wagon de chemin de fer . . .	4,8 m × 2,35 m
Camion à deux chevaux	5,25 m × 2,17 m

Dans ce cas, le train comprendrait un wagon à moteur et un wagon de remorque, portant ensemble 18 à 20 tonnes. Les trucks à moteurs seraient du type à deux bogies, avec un prolongement à chaque extrémité pour le wattman et les appareils de manœuvre. Outre les freins électrique et mécanique, les voitures seraient munies de freins magnétiques agissant sur les rails.

Aux Etats-Unis, le transport des marchandises sur les lignes électriques à trôlet a pris un développement considérable. La « Pittsburg Express Company » (Pittsburg, Pennsylvanie) avait en circulation, en 1900, dix fourgons à marchandises pouvant porter chacun 8 tonnes, La circulation journalière était de 430 voitures-kilomètre. La Compagnie transporte les colis de messageries et les marchandises lourdes de toute sorte.

A Détroit (Michigan), une entreprise semblable s'est fondée; c'est le transport du lait qui en a été l'origine. Les tarifs sont établis selon la valeur, les dimensions et le poids de l'objet transporté.

Sur le Continent européen, c'est la Belgique, le pays des produits agricoles, qui offre les plus remarquables exemples de transports de marchandises par chemins de fer secondaires. Mais ce sont pour la plupart des chemins de fer à vapeur.

En Allemagne, la « Union Electricitäts Gesellschaft » a construit à Aix-la-Chapelle, il y a six ans, une ligne électrique à marchandises.

En visitant l'Exposition de Düsseldorf en 1902, l'auteur a remarqué une très intéressante entreprise de transport de marchandises sur une ligne électrique. Cette ligne est un chemin de fer secondaire appartenant à la « Rheinische Bahn-Gesellschaft »; elle sert à la circulation des voyageurs et des marchandises. Longue de 21 km, elle relie les villes de Düsseldorf et de Crefeld. On y transporte les colis séparés, le lait et les produits agricoles. Pour les colis séparés, on applique le tarif, presque universel en Allemagne, de 20 pfennigs (0,25 fr) par tonne-kilomètre. Pour le lait, dont la circulation est très considérable dans cette région, le tarif est le suivant : pour une distance de 10 km un taux minimum de 30 pfennigs (0,375 fr) par 100 kg, et 5 pfennigs (0,062 fr) en sus pour chaque parcours de 5 km au delà. Les prix sont perçus sur : *a*) le poids du lait transporté, y compris le poids des bidons ; *b*) la moitié du poids des bidons vides retournés.

On transporte le lait surtout pendant les premières heures de la matinée, mais aussi à midi et le soir. Les colis séparés sont transportés trois fois par jour, par des trains de voyageurs.

Les véhicules affectés aux marchandises sont des fourgons à quatre essieux, pouvant porter dix tonnes.

En Suisse, la ligne de Burgdorf-Thoune, construite pour le service des voyageurs, transporte aussi des marchandises.

Dans le Royaume-Uni, il n'y a que très peu d'entreprises de ce genre, de grandes difficultés ayant été soulevées par les propriétaires fonciers et les autorités locales. La Compagnie des Tramways du Sud du Lancashire a désigné un directeur pour le trafic des marchandises. Le Conseil municipal de Haddersfield a traité avec une société privée pour le transport du charbon sur son réseau de tramways. A Bradford (Yorkshire), on emploie les tramways au transport des colis.

Avantages directs et indirects. — C'est naturellement la Compagnie ou la municipalité exploitante qui tirera le principal avantage de la circulation des marchandises sur son réseau. Les manufactures, les houillères, les entrepôts, profiteront de la rapidité des livraisons et du bon marché des tarifs. Les communes, enfin, bénéficieront d'avantages moins apparents mais tout aussi réels, dont le principal sera la forte décroissance du camionnage : on sait en effet que les dégâts causés aux routes par ce mode de transport sont considérables et les réparations onéreuses.

Un autre avantage indirect sera l'abaissement du prix de revient de l'énergie électrique pour la station centrale. Si le facteur de charge passe, par exemple, de 40 p. 100 à 60 p. 100, l'économie réalisée est de 20 p. 100 environ.

Inconvénients et difficultés. — On a signalé plusieurs soi-disant inconvénients (distincts des difficultés techniques) de la circulation des marchandises sur les tramways électriques. Le principal serait, dit-on, le bruit causé pendant la nuit par le roulement de fourgons lourdement

Digitized by Google

chargés sur les lignes suburbaines. Mais l'auteur fait remarquer que les camions circulant de nuit sur les routes pavées sont bien plus bruyants encore, et le nouveau système serait à cet égard une amélioration.

D'un autre côté, les difficultés pratiques sont assurément nombreuses. Les principales sont les suivantes :

1° Quel système emploiera-t-on pour amener les marchandises aux parties de la contrée éloignées de la ligne, aux usines, aux magasins, etc. ?

2° Il faudra obtenir l'autorisation des municipalités et des propriétaires pour poser les nouvelles lignes et les voies de garage nécessaires.

3° La vitesse, sur les voies simples ou doubles, devra être réglée de façon à ne pas entraver la circulation des voitures de voyageurs.

4° Quand devra-t-on inaugurer l'entreprise ?

Au sujet de la première question, on doit répondre qu'il sera dans bien des cas avantageux de construire des lignes spéciales et des voies de garage pour le chargement et le déchargement, mais, dans d'autres, il faudra adopter un système différent. Même si l'on ne peut se dispenser du camion, le coût du transbordement en bloc des marchandises du wagon électrique au camion sera bien moindre que le déchargement des wagons de chemin de fer. Il sera bien entendu nécessaire d'établir dans chaque ville des dépôts pour les marchandises destinées aux lieux isolés et à la circulation locale, mais ces dépôts pourront être de dimensions restreintes par rapport à ceux des chemins de fer, grâce à la rapidité des manutentions.

Il y a une difficulté très réelle à obtenir l'autorisation nécessaire pour la pose des lignes supplémentaires et des voies de chargement ; il faut en effet repasser par les mêmes formalités que pour l'établissement des lignes principales. La législation anglaise devrait être réformée à cet égard.

Les voitures à voyageurs doivent pouvoir rouler à grande vitesse, et il ne serait ni commode ni économique, dans bien des cas, de faire circuler des fourgons de marchandises avec la même rapidité. On préférera donc sans doute transporter les marchandises très lourdes pendant la nuit, mais, pour des charges n'exédant pas 5 tonnes par wagon, la circulation des voitures de voyageurs, qui sont d'ailleurs soumises à de fréquents arrêts, ne sera pas entravée. Si le trafic des marchandises devient très important, il y aura avantage à poser des voies de garage spéciales.

Il faut enfin décider à quel moment il conviendra d'inaugurer l'entreprise. Il n'est en effet nullement nécessaire d'avoir préparé l'exploitation jusque dans ses détails pour la commencer. Tout au contraire, l'auteur conseille des débuts modestes. Avant d'entrer en relation avec les chemins de fer de la région et les réseaux électriques voisins, il faudra satisfaire les besoins locaux. Ainsi, dans la région du sud de Lancashire, il y a des houillères fournissant de 500 à 1 000 tonnes de charbon par semaine à des fabriques et à des usines à gaz de la contrée : l'entreprise de ces transports, qui se font à présent par charrettes, donnera une première source de profits.

L'auteur conclut en engageant tous les industriels à s'intéresser à ce nouveau genre de transport. Les Compagnies de chemins de fer elles-mêmes n'y doivent pas voir une concurrence, mais un avantage : les tramways électriques draineront pour elles les marchandises dans les régions mal desservies, comme ils l'ont déjà fait, jusqu'à un certain point, pour le trafic-voyageurs. P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

CONGRÈS ANNUEL DE NIAGARA

29 juin-3 juillet 1903 (1).

Le Congrès des chutes du Niagara s'ouvre le 29 juin par une adresse du mayor Hancock, pre-

(1) Étant donné l'intérêt des communications présentées à ce Congrès, nous en donnons dès maintenant les titres ci-dessous, d'après le numéro de août-septembre des *Transactions*.

1° Discours de bienvenue et adresse présidentielle ;

2° Transformations de l'énergie dans les commutatrices, par W. L. Franklin. Critique de cette communication, par S. Sheldon ;

3° Etude commerciale des alternateurs, par W. L. Waters. — Discussion, par Rushmore, Mershon, Ryan et Waters ;

4° Assemblées locales de l'Institut, leur organisation, leur développement et leur influence, par C. W. Rice. — Discussion, par Ryan, Scott, Goldboroug, Junkersfeld, Ralph Pope ;

5° Progrès et applications de la lampe à vapeur de

mier magistrat de la cité, auquel répond M. Scott, président de l'Institut américain, par son adresse inaugurale du Congrès. Dans ce discours, l'orateur s'étend sur le rôle spécial de l'ingénieur électricien dont l'activité embrasse toutes les branches de l'industrie humaine. Pour suppléer aux forces limitées de l'esprit et à l'expérience prolongée que d'autres industries ont acquises, l'orateur préconise, comme dans dans tous ses autres discours, l'unification et la « coopération » des efforts individuels. En ce qui concerne l'Institut, l'orateur s'est attaché à développer son influence en créant des assemblées locales dans les universités et les écoles techniques répandues sur le territoire et en entretenant des relations suivies avec les associations similaires. Le Président se félicite que ces idées aient été partagées par M. Carnegie, dont chacun connaît le don magnifique d'un million de dollars pour l'édification d'un Palais des Ingénieurs, destiné aux assemblées de quatre grandes associations d'Ingénieurs américains. Les lieux de réunion, les bibliothèques bien pourvues, les communications des professionnels et les données techniques sont autant de moyens, d'outils pour le perfectionnement de l'ingénieur. Ils lui permettent d'être toujours au courant des conditions les plus modernes de sa fonction.

mercure Cooper Herwitt, par Max von Rechlinghausen et Percy, H. Thomas. — Discussion;

6° Problèmes de la traction à grande vitesse, par A. H. Armstrong;

7° Locomotives industrielles à accumulateurs, par Fl. Sessions. — Discussion, par Berry, Sperry et Sessions;

8° Prédétermination dans la traction, par F. W. Carter. — Discussion, par Mailloux et Carter;

9° Essais de voitures interurbaines, par Goldborough et Fansler. — Discussion, par Roberts, Sherwood et Armstrong;

10° Quelques règles concernant les qualités électriques et mécaniques des isolateurs de trolley, par Sheldon et Keiley. — Discussion, par Sachs, Mershon et Sheldon;

11° Les accumulateurs dans les sous-stations, par Goldsborough et Fansler. — Discussion;

12° Fonctionnement des moteurs de traction en service, par Clarence Renshaw. — Discussion;

13° Conjoncteur-disjoncteur et la protection des lignes de transmission, par Leonard Wilson. — Discussion;

14° Procédés d'amenée des conducteurs à haute tension dans les édifices, par Skinner. — Discussion, par Floy, Ensign, Mudge, Scott, Pierce, etc., etc.;

15° Mise à la terre comme protection contre la foudre, par Ralph D. Mershon. — Discussion;

16° Essais des appareils électriques au point de vue de la tension diélectrique, par Thomas. — Discussion.

17° Du choix de la fréquence sur les très longues lignes, par P. M. Lincoln. — Discussion;

18° Connexion en triangle ou en étoile dans les transformateurs, par Blackwell. — Discussion;

19° Câbles électriques pour hautes tensions, par H.-W. Fisher. — Discussion;

20° Manipulation et entretien des systèmes souterrains à haute tension, par Ph. Torchio. — Discussion;

21° Procédés automatiques de déconnexion des appareils hors de service, par H.-G. Stott. — Discussion.

Pour en présenter le plus rapidement possible les analyses à nos lecteurs, nous suivrons l'ordre le plus favorable à la composition et non celui dans lequel les communications ont été présentées.

Du choix des fréquences pour les transmissions d'énergie à très grandes distances, par **P. M. Lincoln.** *Transactions of Am. Ins. of El. Eng.*, t. XX, p. 1231-1242, août-septembre 1903.

Bien que des fréquences diverses soient encore en usage, aux Etats-Unis, deux types tendent à s'établir, à savoir ceux de 25 et de 60 périodes. L'auteur se propose d'examiner lequel de ces types doit être préféré pour les très longues lignes, au point de vue du seul problème du transport d'énergie. Les considérations de l'auteur s'appliquent à une ligne de 200 milles (322 km), bien qu'il n'existe encore qu'une seule ligne de cette longueur.

La chute de tension de ligne dépend, entre autres éléments, de la résistance et de l'inductance du circuit, et en outre du facteur de puissance. La pratique a fait adopter une chute de tension ohmique maxima de 15 p. 100 sur la transmission, et une chute inductive de 20 p. 100 au maximum; ces chiffres correspondent à une chute de tension résultante de 24 p. 100 environ, avec un facteur de puissance de 0,85. Alors que la chute ohmique peut être réduite par l'accroissement de la section des conducteurs, la chute inductive en est très peu affectée [1].

Cette dernière limite l'énergie qui peut être transmise, comme le montre la table suivante :

Tension à l'extrémité de la ligne, 322 km. — triphasé.	Energie transmise avec une chute de 20 p. 100. 60 périodes.	25 périodes.
20 000 volts.	500 kw.	1 250 kw.
30 000 —	1 125 —	2 800 —
40 000 —	2 000 —	5 000 —
50 000 —	3 125 —	7 800 —
60 000 —	4 500 —	11 250 —
80 000 —	8 000 —	20 000 —

(1) Une augmentation de section qui réduirait la chute

Digitized by Google

Pour la transmission de grandes puissances, la fréquence de 25 périodes présente donc un avantage marqué.

Le courant de charge de la ligne est une fonction directe de la fréquenee, de la tension et, à un faible degré, de la construction de la ligne. A 60 périodes, l'énergie apparente représentée par le courant de charge d'une ligne triphasée de 200 milles (322 km) est pratiquement égale à la limite de capacité de la ligne correspondant à une chute inductive de 20 p. 100 ; pour 25 périodes, cette énergie n'est que les 15 p. 100 de la capacité limite.

La génératrice d'une ligne à 60 périodes devra donc fournir constamment le courant total, quelle que soit la charge, ou bien il faudra compenser le courant de charge par l'installation de bobines de self-induction.

Le courant de charge a d'ailleurs pour effet, en circulant dans l'induit des génératrices de renforcer les ampères-tours magnétisants du champ dans une proportion qui dépend de son intensité et de la caractéristique de tension de la génératrice. Par suite, au moment de variations brusques de la charge, la variation de tension de la génératrice qui en résulte entraîne aussi une modification de cet élément de l'excitation. La caractéristique se rapproche donc de celle d'une dynamo-shunt, ce qui n'est pas à coup sûr un progrès.

Une ligne de transmission possède une période d'oscillation propre, telle que si l'on y applique une force électromotrice de la fréquence correspondante, des courants relativement intenses y circuleront. Le fait que dans une ligne de transmission très longue, la capacité et la self-induction sont réparties sur toute la ligne, en outre, l'effet perturbateur des self-inductions et des capacités concentrées, dans les appareils, à chaque extrémité de la ligne, compliquent extrêmement la question de la production des résonances. La période naturelle, c'est-à-dire la fréquence à laquelle la résonance entre deux parties d'une ligne se produit, est minima quand ces éléments sont égaux ; ce minimum pour une ligne de 200 milles (322 km) correspond à environ 200 périodes ; la fréquence des harmoniques risque d'autant moins d'atteindre cette valeur, que la fréquence fondamentale est moins élevée. L'auteur reconnaît qu'il n'a jamais pu constater d'accidents de ce fait, mais la supériorité des basses fréquences n'en est pas moins évidente à ce point de vue.

L'auteur rappelle enfin que les deux lignes les plus longues du monde (Bay Counties et Missouri) fonctionnent toutes deux à 60 périodes, mais par suite de considérations autres que celles de la transmission d'énergie elles-mêmes,

P.-L. Charpentier.

ohmique de moitié, n'entraînerait qu'une réduction de 5 p. 100 de la chute inductive.

DEUTSCHE BUNSEN GESELLSCHAFT

10e Assemblée générale (1).

La précipitation quantitative et la séparation des métaux par électrolyse, par le **Dr H. Danneel**, de Breslau. *Zeitschrit f. Elektrochemie*, t. IX, p. 760, 10 septembre 1903.

Plomb. — L'auteur emploie 0,5 à 1 gr de la substance dissoute par l'ébullition dans 30 cm^3

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXVI, p. 590, 4 sept 1903 : t. XXII, p. 37, 110 et 148, 3, 17 et 24 oct. 1903 ; p. 275 et 319, 14 et 21 nov. 1903.

Comme autres communications présentées à cette Assemblée générale, nous nous contenterons de mentionner les suivantes qui n'ont aucun caractèce électrique ou électrochimique et font plutôt partie du domaine de la chimie-physique.

Sur une formule de gravitation pouvant être employée dans les phénomènes de diffusion, par E. Solvay, de Bruxelles. *Zeitschrist für Elektrochimie*, t. IX, p. 723, 3 septembre 1903.

Contribution à la cinétique de réaction des méthodes de réduction, par H. Goldschmidt, de Christiana. *Zeitschrift für Electrochemie*, t. IX, p. 725, 3 septembre 1903.

Sur l'importance de l'électrolyse dans la préparation des corps de la chimie organique, par K. Elbs, de Giessen. *Zeitschrift für Elehtrochemie*, t. IX, p. 727, 3 septembre 1903.

Sur l'importance de l'électrochimie dans la technique organique, par M. Buchner, de Mannheim. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 728, 3 septembre 1903.

Importance technique de la catalyse, par G. Bodlander, de Braunschweig. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 732, 3 septembre 1903.

Sur la relation entre l'ion-sulfocyanogène, et les ions-halogènes et l'ion-cyanogène, par Grossmann, de Münster. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 736, 3 septembre 1903.

Les principes de l'emploi de l'endosmose électrique et les phénomènes dépendant de l'état colloïdal, par G.

Digitized by Google

d'acide nitrique de densité 1,4. On étend d'eau, on fait bouillir, on filtre dans un vase de platine contenant environ 180 cm^3, et on électrolyse environ une heure à une densité de courant de 1,5 ampère par dm^2. Le plomb se sépare en peroxyde sur le creuset de platine employé comme anode; on le sèche à 180-190° C. et on pèse. Le précipité se dissout très facilement si on remplit le creuset d'acide nitrique étendu, et si on plonge une baguette de cuivre ou de zinc reposant sur le fond. Avec 6 creusets on peut faire facilement 48 analyses de plomb par jour.

Cuivre. — Le cuivre ou ses alliages, exempt de As, Sb, Sn, Bi, Hg et Ag, est dissous dans 10 cm^3 d'acide nitrique de densité 1,4 et électrolysé. En présence du plomb, les deux métaux peuvent être déterminés simultanément, le cuivre à la cathode et le plomb à l'anode. S'il y a beaucoup de plomb, il convient d'utiliser le creuset comme anode, à cause de sa plus grande surface. La densité de courant doit être 1 à 1,5 ampère par décimètre carré. En présence de As ou Sb, on dissout le minerai dans l'acide sulfurique concentré, on fait bouillir la solution filtrée qu'on additionne d'une solution chaude d'hyposulfite de soude. Le précipité filtré, lavé, séché, est chauffé dans un creuset de porcelaine; As et Sb se volatilisent alors. Le résidu d'oxyde de cuivre est dissous dans 10 cm^3 d'acide nitrique et électrolysé comme ci-dessus.

Antimoine. — On dissout 0,5 à 1 gr de la substance (selon sa teneur en Sb) dans une solution renfermant, pour 1 gr de substance, 3 cm^3 d'acide nitrique de densité 1,4, 12 cm^3 d'eau et 1 à 2 gr d'acide tartrique. A la solution claire, on ajoute 3 cm^3 d'acide sulfurique concentré et on évapore jusqu'au départ de l'acide nitrique. Après refroidissement, on reprend par l'eau et on filtre le sulfate de plomb. Le liquide filtré est alors traité par la soude jusqu'à réaction alcaline puis on ajoute 50 cm^3 d'une solution à demi saturée de Na^2S. On électrolyse à une densité de courant de 1,5 à 1,7 ampère par décimètre carré, après avoir chauffé et filtré.

Etain. — C'est surtout dans les alliages et principalement en présence de l'antimoine qu'on a ce métal à doser. L'alliage est dissous dans l'acide nitrique et l'acide tartrique. En présence du plomb, on traite par $H^2 SO^4$, puis on évapore de façon à chasser l'acide nitrique. Le résidu est étendu d'eau, filtré, neutralisé avec la soude puis additionné de 80 cm^3 environ d'une solution saturée froide de Na^2S. On fait bouillir et on électrolyse.

Dans le cas où il n'y a pas de plomb, on neutralise la solution nitrique avec la soude, puis on opère comme ci-dessus. Par l'électrolyse, l'antimoine seul se sépare. La solution renfermant tout l'étain est chauffée avec 25 à 30 gr de sulfure d'ammonium. De la solution de sulfostannate ainsi obtenue, l'étain se sépare en une ou deux heures avec une densité de courant de 1,5 ampère par décimètre carré. Lorsque l'alliage renferme beaucoup d'étain et peu d'antimoine, il convient de redissoudre dans l'acide nitrique l'antimoine électrolysé, qui contient un peu d'étain. On neutralise par la soude, on ajoute du sulfure de sodium, et par une seconde électrolyse on obtient l'antimoine sans étain. Avec les minerais et les cendres, on obtient de très bons résultats en employant 5 gr de substance, 15 gr d'un mélange d'une partie de fluide noir (une partie de tartre et 3 parties de salpêtre chauffées dans une cuillère en fer), une partie de borax, 4 parties de carbonate de soude et 1,5 gr de charbon de bois. On mélange bien, on recouvre de sel marin et on fond dans un creuset d'argile au four à vent. Le culot métallique obtenu qui renferme outre l'étain, Pb, Cu et Sb, est traité comme ci-dessus pour le dosage de l'étain.

L'étain peut être aussi séparé en solution acide d'oxalate d'ammoniaque. Pour cela, après avoir filtré la solution sulfurique, on fait bouillir

---

Bredig, de Heidelberg. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 738, 3 septembre 1903.

Sur l'emploi technique de l'endosmose, par Graf de Schwerin. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 739, 3 septembre 1903.

Discussion des communications de Schenck, Bodenstein et Bodlander. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 742, 3 septembre 1903.

Sur la vitesse d'interversion du sucre dissous dans les vins plâtrés, par G. Magnanimi de Modène. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 751, 3 septembre 1903.

Sur l'hydrogénation par catalyse, par P. Sabatier, de Toulouse. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 752, 3 septembre 1903.

L'importance des matières constitutives de la cathode dans la réduction du nitrobenzol, par Walther Löb, de Boun. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 753, 3 septembre 1903.

L. J.

Digitized by Google

et on additionne de H^2O^2; l'acide stannique séparé est dissous dans l'oxalate acide d'ammoniaque. De cette solution, on précipite l'étain à l'aide d'une densité de courant de 1,5 ampère par décimètre carré.

Cobalt et nickel. — C'est en présence d'arsenic et de cuivre que ces métaux doivent être le plus souvent dosés. On traite 5 gr de la substance finement pulvérisée et séchée à 100° C. par 15 cm³ d'acide sulfurique concentré. On chauffe au bain de sable jusqu'à ce que le résidu paraisse blanc. Après refroidissement, on étend d'eau, on fait bouillir, on filtre et on sature la solution de H^2S. As et Cu précipitent rapidement. La solution filtrée est chauffée pour chasser H^2S, puis oxydée par H^2O^2, additionnée de 150 cm³ AzH^3 et 10 gr $(AzH^4)^2SO^4$, bouillie et enfin étendue à 500 cm³. De cette solution, on prend 100 cm³ (correspondant à 1 gr), qu'on fait bouillir et qu'on électrolyse à 1,5 ampère par décimètre carré. Le cobalt et le nickel se déposent. On pèse le dépôt, on le dissout dans un peu d'acide nitrique, et on précipite le cobalt à l'état de nitrite de cobalt et de potassium en ajoutant du nitrite de potassium et quelques gouttes d'acide acétique. Ce précipité, lavé au sulfate de potassium concentré est dissous dans l'acide sulfurique chaud. Après évaporation de H^2SO^4, on reprend avec 25 cm³ AzH^3 et 2 gr de sulfate d'ammoniaque, on fait bouillir et on électrolyse à 1,5 ampère par décimètre carré. Le cobalt est ainsi séparé seul. Le nickel se dose par différence.

On peut aussi déterminer Co + Ni en mélangeant 10 gr de matière, 40 gr d'arsénite de sodium, 15 gr d'un mélange d'une partie de flux noir, une partie de borax et 4 de carbonate de soude. Après fusion dans un creuset d'argile, on trouve un culot métallique renfermant As. Cu. Ni et Co.

On le dissout dans 20 cm³ d'une solution concentrée de brôme dans l'acide chlorhydrique. La solution est bouillie avec 15 cm³ de H^2SO^4, puis traitée comme ci-dessus pour la séparation de As et Cu.

Zinc. — On dissout 0,5 à 1 gr du minerai ou de l'alliage dans l'eau régale; on évapore avec H^2SO^4. Les métaux du groupe de H^2S sont précipités par celui-ci. La solution filtrée, est bouillie, oxydée avec H^2O^2, précipitée avec AzH^3. Le précipité de Fe, Mn et Al^2O^3 est redissous dans H^2SO^4, puis précipité une deuxième fois par AzH^3. Après filtration, la solution purifiée est additionnée d'un excès d'acide tartrique, bouillie et électrolysée. Comme anode, l'auteur emploie un creuset de platine, et comme cathode, une toile métallique en laiton, de 7 cm de diamètre; cette toile a été préalablement amalgamée. Avec une densité de courant de 1,6 ampère par décimètre carré, sous une tension de 3,6 volts, on peut facilement électrolyser 0,3 gr de zinc à l'heure.

Cadmium. — 0,5 gr de sulfure de cadmium est dissous dans l'eau régale; la solution est évaporée, reprise par l'eau, additionnée de 10 gr d'oxalate d'ammoniaque, bouillie, puis électrolysée dans les mêmes conditions que le zinc, avec une densité de courant de 1,5 ampère par décimètre carré. Pour compenser la perte en acide oxalique détruit par l'électrolyse, on met dans le vase quelques cristaux de cet acide qui se dissolvent peu à peu.

L'auteur présente ensuite quelques considérations relatives à la séparation des métaux sous une forme convenable pour l'analyse électrochimique. Il indique notamment l'influence déjà connue de la densité de courant sur la forme cristalline ou spongieuse des dépôts, les causes de l'appauvrissement en ions de la solution au voisinage de la cathode et les moyens de combattre cet appauvrissement.

L. J.

Le Gérant : CH. COINTE.

Digitized by Google

Tome XXXVII — Samedi 26 Décembre 1903. — 10e Année. — N° 52

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL, Professeur au Collège de France, Membre de l'Institut. — **A. BLONDEL**, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur à l'Ecole des Ponts et Chaussées. — **G. LIPPMANN**. Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **D. MONNIER**, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. — **H. POINCARÉ**, Professeur à la Sorbonne, Membre de l'Institut. — **A. POTIER**, Professeur à l'École des Mines, Membre de l'Institut. — **A. WITZ**, Ingénieur des Arts et Manufactures, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille. — **J. BLONDIN**, Agrégé de l'Université, Professeur au Collège Rollin.

SUR LA

DÉCOMPOSITION D'UNE CARACTÉRISTIQUE A VIDE

RELEVÉE EXPÉRIMENTALEMENT

Nous avons montré dans une étude sur la réaction d'induit des alternateurs (1), toute l'importance que présentaient la considération des caractéristiques partielles d'une dynamo et plus particulièrement de trois d'entre elles : 1° la caractéristique à vide de l'induit ou courbe du flux dans l'induit en fonction des ampèretours nécessaires pour faire passer ce flux dans le fer induit, l'entrefer et la partie des pièces polaires non traversée par les fuites magnétiques de l'inducteur; 2° la caractéristique de l'inducteur ou courbe du flux total dans l'inducteur à vide en fonction des ampèretours nécessaires pour faire passer ce flux dans le circuit magnétique inducteur seul; 3° la caractéristique du flux de fuite de l'inducteur en fonction des ampèretours agissant sur les circuits de fuite. En ce qui concerne cette dernière nous avons admis implicitement avec M. Picou qu'ils correspondaient à la différence de potentiel magnétique entre les cornes polaires de deux pôles voisins, ce qui permet de porter cette courbe au-dessous avec des abscisses communes avec celles de la caractéristique de l'induit seul.

Cette hypothèse revient, comme nous l'expliquerons plus loin, à supposer que la chute de potentiel magnétique dans les noyaux inducteurs est sensiblement nulle, ce qui n'est évidemment pas vrai en général.

(1) *The Electrical World and Engineer* des mois d'octobre, novembre, décembre 1902 et janvier 1903. Voir aussi *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 356 et 413 et t. XXXV, p. 183 et 265.

Digitized by Google

Dans l'application d'un exemple, celui des alternateurs Brown, Boveri et Cie de la station génératrice de Paderno, de notre méthode de prédétermination des caractéristiques en charge, nous avons supposé que la caractéristique de l'induit seul était une droite, ce qui est sensiblement vrai, et que le coefficient d'Hopkinson était constant, c'est-à-dire admis l'hypothèse dont nous venons de parler.

Notre intention est de montrer que l'hypothèse faite sur la constance du coefficient de fuite n'entraîne aucune erreur par suite de propriétés très intéressantes des caractéristiques partielles et la caractéristique totale à vide, propriétés que nous signalerons.

Rappelons tout d'abord comment on peut, en partant d'une caractéristique à vide relevée expérimentalement, déduire les caractéristiques partielles de l'induit, de l'inducteur et de la dispersion de l'inducteur.

Fig. 1.

On transforme l'échelle des ordonnées de façon à considérer la courbe du flux utile C_v dans l'induit au lieu de celle de la force électromotrice induite qui lui est proportionnelle, puis l'on détermine par le calcul la caractéristique de l'induit seul C_i comprenant : l'entrefer, le fer induit, les dents et une partie des pièces polaires.

Par différence entre les abscisses de C_v et C_i, nous obtiendrons la courbe du flux utile traversant l'inducteur en fonction des ampèretours pour le circuit inducteur seul. Cette courbe n'offre, au premier abord toutefois, qu'un intérêt relatif, car, en réalité, c'est celle du flux total dans l'inducteur en fonction des ampèretours pour le circuit inducteur.

Pour obtenir cette dernière, il faut calculer, aussi soigneusement que possible, les perméances des circuits de fuite de l'inducteur de façon à pouvoir tracer les caractéristiques des fuites de l'inducteur. Si nous admettons l'hypothèse faite, pour obtenir un point de la caractéristique de l'inducteur il suffira de se donner une valeur quelconque AB du flux utile correspondant à OA ampèretours sur la caractéristique de l'induit.

Fig. 2.

La différence de potentiel magnétique agissant sur les circuits de fuite étant par hypothèse celle entre les cornes polaires ne sera évidemment autre que OA, de sorte que le flux de fuite aura pour valeur AE. Le coefficient d'Hopkinson étant, pour le régime considéré, $\frac{BE}{AB}$, il suffira pour obtenir le flux total $FD' = BE$ dans l'inducteur de porter à partir du point F, $OF = AG$ représentant les ampèretours pour l'inducteur seul, une longueur FD' égale à BE. Cette opération peut se faire graphiquement en menant par B une parallèle à OC jusqu'en D, puis par D une horizontale jusqu'à sa rencontre avec la verticale du point L de la courbe C_v-C_i du flux utile traversant l'inducteur.

Digitized by Google

La courbe ainsi obtenue diffère de la courbe réelle d'une quantité d'autant plus importante que la saturation des noyaux inducteurs est plus grande.

Avant d'aller plus loin dans la détermination exacte de la caractéristique de l'inducteur, quelques considérations sur le calcul du coefficient d'Hopkinson faciliteront la compréhension de notre étude.

L'expression la plus simple du coefficient d'Hopkinson est évidemment (fig. 2) :

$$\nu = 1 + \frac{\Phi_a}{\Phi_1} = 1 + \frac{0{,}4\pi mi\Sigma\mathfrak{P}}{\Phi i},$$

Φ_i désignant le flux utile dans l'induit, Φ_a le flux de fuite correspondant, flux dont l'expression est $0{,}4\,\pi mi\Sigma\mathfrak{P}$ en appelant $0{,}4\,\pi\,mi$ la moitié de la différence de potentiel magnétique entre les cornes polaires, c'est-à-dire la force magnéto-motrice nécessaire pour un entrefer, un demi-circuit magnétique induit, etc., et $\Sigma\mathfrak{P}$ la somme des perméances des divers circuits de fuite obtenus en considérant deux à deux les surfaces en regard. Ces perméances doivent être comptées en prenant la moitié des lignes de force moyenne et en divisant par deux les perméances correspondant aux surfaces considérées dont une au moins est recouverte par le fil inducteur.

Ceci suppose que la chute de potentiel magnétique est nulle le long du circuit des noyaux inducteurs, ce qui n'est admissible que pour des saturations faibles ou moyennes.

Lorsque les noyaux inducteurs ont une résistance magnétique appréciable, on doit tenir compte de ce que les différences de potentiel magnétique agissant sur les divers circuits de dispersion ne sont plus les mêmes pour tous.

Pour plus de simplicité, on peut admettre que la dispersion de l'inducteur peut se partager en deux parties seulement : celle entre les pièces polaires et celle entre les noyaux.

Les fuites magnétiques entre les pièces polaires sont déterminées par la différence magnétique entre ces pièces, c'est-à-dire par les ampèretours nécessaires pour deux entrefers et l'induit.

Les fuites magnétiques entre les noyaux polaires, ou entre ceux-ci et la carcasse, peuvent être regardées comme produites par la différence de potentiel magnétique entre les cornes polaires augmentée de la chute de potentiel magnétique sur chacune des parties des noyaux inducteurs comprises entre les pièces polaires et les points où aboutissent les extrémités des lignes de force moyennes.

Ceci revient en somme en moyenne à admettre que la chute de potentiel magnétique le long des noyaux se fait suivant une loi linéaire, ce qui n'est vrai en réalité que si les fuites entre noyaux inducteurs et entre ceux-ci et la carcasse sont assez peu importantes pour que l'induction varie peu le long du noyau.

Le coefficient d'Hopkinson se composera donc dans ce cas du coefficient obtenu en négligeant la chute de potentiel magnétique dans les noyaux, augmentée d'une quantité tenant compte de cette chute. Avec cette manière de voir, le coefficient augmenterait linéairement avec l'induction dans l'inducteur, à condition toutefois que l'induction dans l'induit soit assez faible pour que le flux y reste proportionnel à la force magnéto-motrice.

Si $0{,}4\,\pi\,m\,i'$ désigne la force magnéto-motrice pour la partie de chaque noyau inducteur comprise entre la pièce polaire et le point où aboutit la ligne de force moyenne, la valeur du coefficient d'Hopkinson sera alors :

$$\nu = 1 + \frac{(\Sigma\mathfrak{P}_p + \Sigma\mathfrak{P}_n)0{,}4\pi mi}{\Phi_i} + \frac{(\Sigma\mathfrak{P}_n)0{,}4\pi mi'}{\Phi^i}.$$

$\Sigma\mathfrak{P}$ étant la somme des perméances des demi-circuits de dispersion entre les pièces

polaires et $\Sigma \mathcal{P}_n$, celle des perméances des demi-circuits de dispersion entre les noyaux, ou entre les noyaux et la carcasse, prises dans les mêmes conditions que les précédentes et divisées ensuite par 2, pour tenir compte de ce que la force magnétomotrice va en croissant linéairement de la base du pôle à la pièce polaire, si la répartition du fil est homogène.

Ceci posé, revenons à la décomposition de la caractéristique à vide, en caractéristiques partielles de l'induit de l'inducteur.

Si l'on ne pouvait négliger la résistance magnétique des noyaux, il faudrait supposer que l'on connût exactement le flux de fuite complémentaire $(\Sigma \mathcal{P}_n)\ 0{,}4\ \pi m i'$ et porter les valeurs de ce flux en ordonnées à partir de F (fig. 3), c'est-à-dire représenter en C la courbe du flux de fuite supplémentaire en fonction des ampèretours pour l'inducteur seul.

La courbe réelle du flux dans l'inducteur s'obtiendrait finalement en portant à partir de D' une longueur D' D'' égale à EH et serait le lieu du point D''.

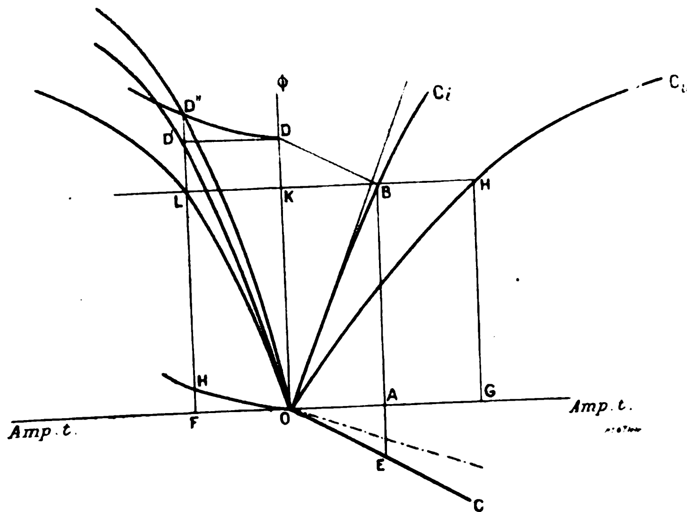


Fig. 3.

Inversement, dans le calcul d'une machine, après la prédétermination des caractéristiques de l'inducteur et de l'induit, et des deux genres de fuites, celle de la caractéristique à vide s'obtiendra par une construction analogue à celle qu'a indiquée M. Potier c'est-à-dire en partant d'un flux utile AB, en menant BD parallèle à OC et en remplaçant l'horizontale DD' par la courbe D D'' parallèle à la courbe OH. Le point d'intersection de la caractéristique réelle de l'inducteur avec cette courbe DD'' donnera le point D'', et la distance F de la projection de ce point au point A représentera les ampèretours totaux pour obtenir le flux considéré dans l'induit; FG et AB définiront donc un point de la caractéristique à vide.

On sait que le calcul des perméances des circuits de fuites est assez difficile à faire exactement dans beaucoup de cas. La détermination de la courbe des fuites supplémentaires dues à la chute de potentiel magnétique dans les noyaux sera encore rendue plus incertaine et plus pénible par suite de la difficulté du calcul de cette différence de potentiel magnétique.

On conçoit donc que si la méthode de prédétermination des caractéristiques en charge que nous avons préconisée en partant de la caractéristique à vide relevée expérimentalement exigeait la connaissance de la courbe OH, cette prédétermination ne serait au fond qu'un calcul de seconde approximation.

La connaissance de la courbe OH n'est heureusement pas nécessaire ainsi qu'on s'en convainc en jetant un coup d'œil sur la figure 3, puisque les points L' D'' sont sur la même verticale. En particulier, on voit qu'on peut substituer à la caractéristique réelle de l'inducteur, la caractéristique fictive lieu du point D' c'est-à-dire obtenue en négligeant les fuites magnétiques supplémentaires dues à la chute de potentiel magnétique dans les noyaux.

Digitized by Google

L'application numérique que nous avons rappelée plus haut et la concordance des résultats obtenus avec les chiffres relevés expérimentalement subsistent donc bien même pour les régimes correspondant à une saturation importante des noyaux inducteurs.

On peut aller encore plus loin et substituer à la courbe réelle de l'inducteur la courbe fictive obtenue par différence entre la caractéristique à vide et la caractéristique de l'induit.

Reprenons en effet la construction (fig. 4) pour le calcul de l'excitation en charge et complétons-la, par le prolongement des horizontales des points B et N dont les ordonnées représentent les flux à vide et en charge. Les points D' et L se trouveront évidemment sur la même verticale, de par la construction même et il en sera de même de H' et K.

La construction se réduira donc dans ce cas à déterminer le point B comme le fait M. Picou et à mener par B une horizontale jusqu'à sa rencontre en L avec la courbe C_v-C_i; en projetant ensuite le point L en F, FP représentera l'excitation pour la charge considérée donnant une force magnéto-motrice directe égale à EC ampèretours.

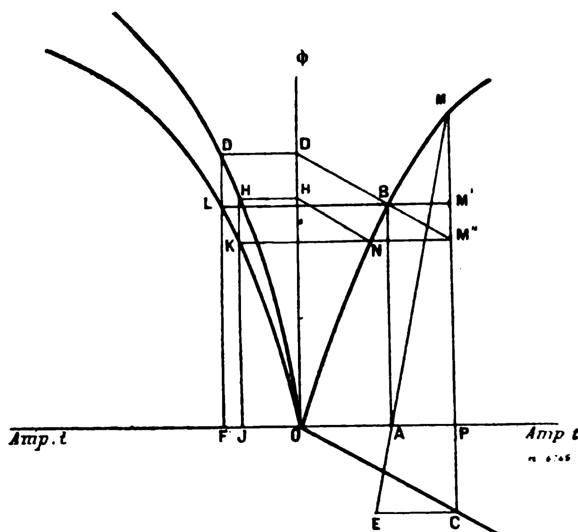


Fig. 4.

On peut donner de cette simplification une raison physique, c'est que la présence du courant dans l'induit occasionne une diminution M'M'' de flux dans cet induit par rapport à celui qui existerait dans le même induit pour une excitation OA et que cette diminution de flux correspond à une augmentation égale des fuites de l'inducteur. Le passage de la marche à vide à la marche en charge pour le même flux augmente donc le flux dans l'inducteur d'une quantité M' M'' qui passerait dans l'induit si le courant induit n'existait pas, la recherche des ampèretours pour l'inducteur seul peut donc se faire sur la courbe du flux utile à vide puisqu'il s'agit d'une simple substitution.

Les quelques considérations que nous venons de donner sont donc de nature à simplifier beaucoup les constructions graphiques proposées par M. Picou et par nous, dans le cas bien entendu où l'on veut se servir des résultats déjà acquis expérimentalement. Elles sont donc de nature à simplifier l'étude des machines qui, à cause de leur puissance élevée, ne peuvent être essayées complètement dans les usines de construction et c'est à ce titre que nous les avons cru devoir intéresser les ingénieurs chargés des essais et de la construction des dynamos.

C.-F. GUILBERT.

Digitized by Google

NOTES SUR LES MOTEURS MONOPHASÉS A COLLECTEURS (1)

III. — Théorie du Moteur a répulsion (*suite*)

Diagramme du moteur à répulsion. — Pour établir maintenant le diagramme (fig. 20), il suffit de combiner, comme on l'a déjà expliqué plus haut, avec le courant primaire I_1 des courants *équivalents* aux courants secondaires I_2, c'est-à-dire des courants qui, circulant

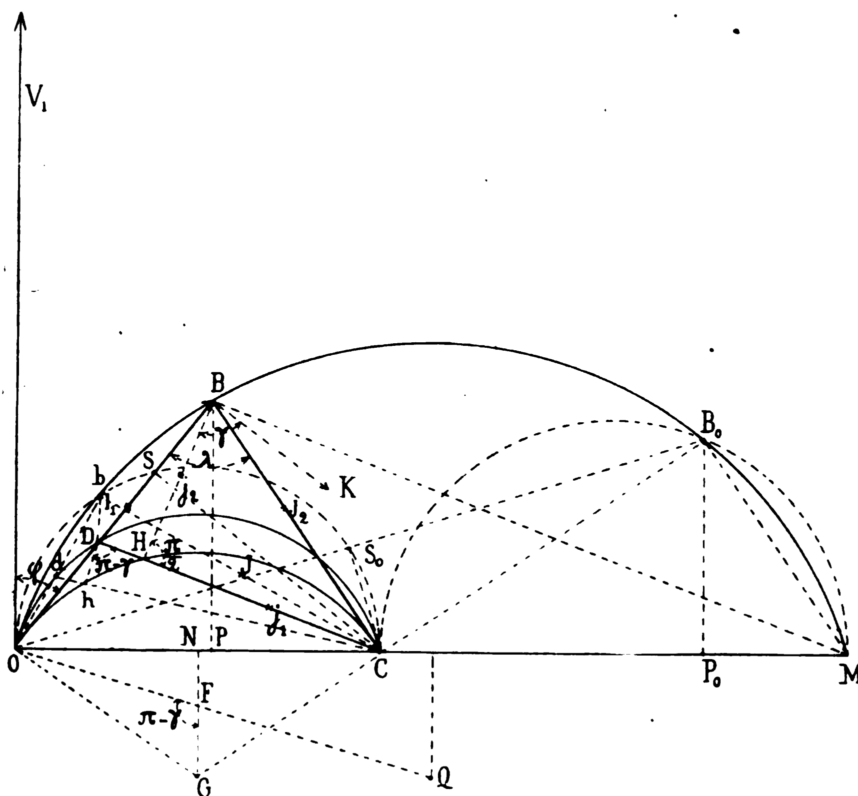


Fig. 20.

dans l'inducteur, produiraient dans celui-ci les mêmes forces électromotrices d'induction que les courants correspondants de l'induit. D'après ce qu'on a vu plus haut (fig. 19), le courant I_2 de l'induit est formé de deux composantes i_1 et i_2 décalées respectivement du même angle γ par rapport aux forces électromotrices dynamiques et statiques ; et nous avons calculé en fonction de I_1 les valeurs des courants équivalents (2) dans l'inducteur, $j_2 = \mathrm{BH}$ ayant la même phase que i_2 et $j_1 = \mathrm{HC}$ ayant même phase que i_1,

$$\mathrm{BH} = j_2 = \frac{M_0 I_1 \Omega \sin^2\beta}{Z_2} \times \frac{K_2 N_2}{2\nu_1 N_1} = \frac{\Omega M_0^2 I_1 \sin^2\beta}{L_1 Z_2}$$

$$\mathrm{HC} = j_2 = \frac{M_0 I_1 \omega \sin\beta\cos\beta}{Z_2} \times \frac{K_2 N_2}{2\nu_1 N_1} = \frac{\omega M_0^2 I_1 \sin\beta\cos\beta}{L_1 Z_2}$$

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 28 novembre, p. 321 et du 12 décembre, p. 423.

(2) Le coefficient d'équivalence est $\frac{K_2 N_2 \sin\beta}{2\nu_1 N_1} = \frac{M_0 \sin\beta}{L_1}$.

Digitized by Google

Au courant secondaire résultant I_2 correspond le courant équivalent $BC = J_2$ résultante des courants j_1, j_2. Le courant total équivalent dans le circuit primaire I_0 est représenté par la résultante OC de I_1 et de J_2. Cette résultante I_0 est constante (si l'on néglige l'effet de la résistance primaire R_1, qu'on traitera plus tard), puisqu'elle donne lieu à une force électromotrice constante $\Omega L_1 I_0$ égale et opposée à la tension du réseau U_1. La droite OC peut donc être désormais prise comme *base constante et fixe* dans le diagramme, et remplacera ainsi la droite fixe correspondante du diagramme du moteur-série, avec lequel on verra plus tard les analogies (1).

Il s'agit maintenant de déterminer le lieu de l'extrémité B du triangle OBC, pour tous les régimes (fig. 20). Nous y arrivons aisément par les remarques suivantes. Quel que soit le régime, le vecteur J_2 étant la résultante de deux vecteurs variables $j_1 j_2$, qui forment entre eux un angle toujours constant $\frac{\pi}{2}$, et j_2 faisant avec le vecteur $OB = I_1$ un angle constant également

$$HBC = \frac{\pi}{2} - \gamma,$$

il en résulte que l'angle ODC formé entre les lignes OB et DC (c'est-à-dire entre le vecteur du courant primaire et celui du courant secondaire induit dynamiquement) est aussi constant et égal à $\pi - \gamma$. Le lieu décrit par le point D sera donc l'arc de cercle représenté, de centre F, construit sur OC comme corde et capable de l'angle $\pi - \gamma$. Dans le triangle DBH, dont l'angle en B est constant, la longueur BH et par suite BD sont constamment proportionnelles à OB, ainsi qu'il résulte de l'expression de j_2. Si donc l'on trace du point B une droite BM parallèle à DC, le point M où elle rencontre l'axe OC sera lui-même fixe, parce que le rapport $\frac{OD}{OB}$ est constant. Le lieu du point B sera ainsi un cercle décrit sur le segment constant OM comme corde et capable de l'angle $\pi - \gamma$.

L'expression des segments DB et OM, qui en résulte, peut être calculée aisément. On a, en effet (en posant $DB = J'$) :

$$J' = DB = \frac{BH}{\sin\gamma} = \frac{\Omega M_0^2 I_1 \sin^2\beta}{L_1 Z_2 \sin\gamma} = \frac{M_0^2 I_1}{L_1 L_2} \sin^2\beta$$

en remarquant que $Z_2 \sin\gamma = \Omega L_2$; par suite le rapport

$$\frac{OB}{OD} = \frac{I_1}{I_1 - J'} = \frac{1}{1 - \frac{J'}{I_1}} = \frac{1}{1 - \frac{M_0^2 \sin^2\beta}{L_1 L_2}}$$

d'où

$$OM = OC \times \frac{OB}{OD} = I_0 \frac{1}{1 - \frac{M_0^2 \sin^2\beta}{L_1 L_2}} = \frac{I_0}{\sigma}$$

En appelant σ le coefficient de fuite magnétique $1 - \frac{(M_0 \sin\beta)^2}{L_1 L_2}$. La longueur OM est donc bien constante, et qui plus est, indépendante de la résistance ohmique de l'induit. On verra plus loin une démonstration géométrique de cette dernière propriété. Elle dépend seule-

(1) Un diagramme peu différent a été imaginé dernièrement par une autre méthode par M. Osnos (*Elektrotechnische Zeitschrift*, 5 novembre 1903). Je lui emprunte ici la représentation du couple que je n'avais pas trouvée moi-même. Pour tout le reste, la méthode que j'ai employée ici a été imaginée d'une manière indépendante et l'exposition diffère complètement.

Digitized by Google

ment du coefficient de fuite sous le calage β, c'est-à-dire du coefficient de fuite sous le calage o $\left(\sigma_0 = 1 - \frac{M_0^2}{L_1 L_2}\right)$ et de $\sin^2\beta$.

Nous savons donc déterminer le lieu du point B et le représenter en fonction des données, et en particulier de l'angle γ qui détermine la forme de ce cercle, dont la corde OM seule est constante quand le calage des balais est constant.

Pour chaque position du point B, les droites BH et HC sont respectivement proportionnelles aux deux courants de l'induit i_1 et i_2 et peuvent servir à les représenter.

La vitesse de rotation est représentée à une constante près par le rapport de ces deux lignes. On a, en effet, d'après ce qui précède, en se reportant aux valeurs de j_1 et j_2

$$\frac{HC}{HB} = \frac{j_1}{j_2} = \frac{\omega}{\Omega} \operatorname{cotg} \beta ;$$

d'où

$$\omega = \Omega \operatorname{tg} \beta \times \frac{HC}{HB} .$$

Les vitesses sont donc représentées par la tangente de l'angle CBH, mais *à une échelle variable* suivant la valeur du décalage des balais, ce qui complique un peu la lecture de l'épure. Plus le décalage est grand, plus les vitesses correspondantes à un même rapport $\frac{HC}{HB}$ sont grandes.

Le couple est proportionnel, comme on le sait, au produit du flux inducteur $\Phi_1 = \frac{2\pi K_1 N_1 I_1}{\mathcal{R}}$ par les ampères-tours de l'induit $\frac{k_2 N_2 I_2}{4}$, en tenant compte du décalage relatif dans le temps λ et du cosinus du calage des balais.

Grâce à l'hypothèse, faite au début d'un inducteur de forme circulaire, le flux propre de l'induit a son axe en coïncidence avec le diamètre de commutation et ne produit donc aucun couple. (Il n'en serait pas de même avec un inducteur à pôles saillants.)

Pour préciser, nous écrirons explicitement

$$\begin{aligned} C &= \frac{2\pi_1 K_1 N_1}{R} I_1 \frac{\kappa_2}{4} N_2 I_2 \cos\lambda \cos\beta = M_0 I_1 I_2 \cos\lambda \cos\beta \\ &= L_1 I_1 \left(\frac{M_0 \sin\beta}{L_1} I_2\right) \cos\lambda \times \operatorname{cotg}\beta \\ &= L_1 \frac{\overline{OB} \times \overline{SB}}{\operatorname{tg}\beta} . \end{aligned}$$

Le point S est à la rencontre de la droite OB et du cercle décrit sur OC comme diamètre.

Pour avoir le couple quand β est variable, il faut bien avoir soin de diviser par $\operatorname{tg}\beta$ le produit des deux segments considérés.

De même que pour les moteurs asynchrones, le décalage entre le courant I_1 et la tension aux bornes U_1, égale et opposée à la force électromotrice induite par le courant I_0, et représentée par le vecteur OU_1, sera représenté par l'angle :

$$\varphi = U_1 OB$$

La puissance P_1 est représentée sur l'épure par l'aire du triangle OBC. La base de celui-ci étant constante, le couple varie proportionnellement à la hauteur BP du triangle; mode de représentation analogue à celui qui est employé pour les moteurs asynchrones.

L'épure donne donc sous une forme très simple tous les éléments nécessaires pour

Digitized by Google

caractériser le fonctionnement du moteur. Elle est peu différente de celle d'un moteur asynchrone à secondaire présentant de la self-induction ; la principale différence est que le cercle de B passe par C au lieu de O et que la représentation du couple est toute autre.

On peut la compléter en y ajoutant encore d'autres cercles, si on le désire, notamment le cercle lieu du point H, qui se déduit aisément du cercle de centre F, lieu du point D, en construisant en OFG un triangle semblable au triangle ODH ; de G comme centre on trace ensuite le cercle passant par H, et qui a même corde OC que le précédent.

L'épure nous permet donc de déterminer les conditions de marche du moteur. Examinons en particulier le démarrage et la marche à vide. Le démarrage est déterminé par le

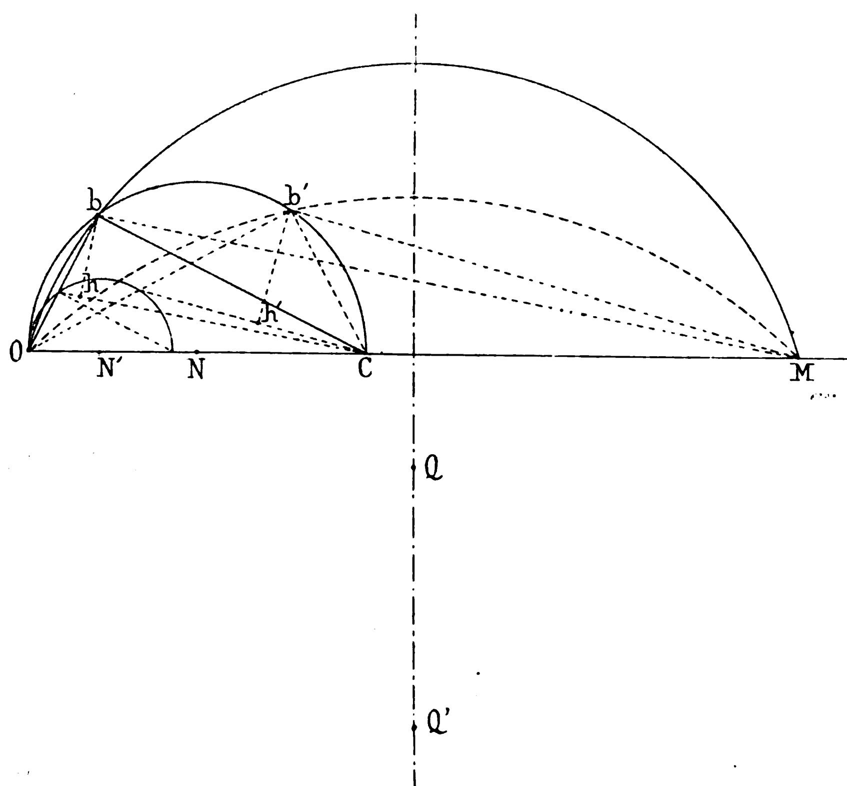


Fig. 21.

fait que le segment HM qui caractérise le courant induit dynamique est nul. En traçant donc du centre G du cercle de H la droite GC passant par C, on obtient la position B_0 du point B qui correspondra au démarrage (1). Le courant primaire I_1 prend alors la valeur limite OB_0 ; et le couple de démarrage est représenté par le produit $\overline{OB_0} \times \overline{S_0B_0}$; on voit qu'il est bien supérieur au couple en marche, tandis que le maximum de la puissance P_1 est représenté par $B'P'$ correspondant au point P' milieu de OM.

Au fur et à mesure que la vitesse augmente, le point B se déplace sur le cercle OBN ; le couple varie progressivement, tandis que le courant I_1 va en diminuant constamment et le décalage φ également. Ce décalage est assez médiocre, comme on le voit, au moment du démarrage et s'améliore seulement aux faibles charges.

(1) Ce point B_0 se trouve sur un cercle de diamètre CM.

Digitized by Google

A la limite, le segment SB tend à s'annuler quand B vient se confondre avec b, tandis que le courant I_2 prend une valeur notable; et la vitesse, proportionnelle à $\frac{CH}{HB}\ \Omega\ \text{tg}\ \beta$ croît jusqu'à la limite $\Omega\ \text{tg}\,\gamma\ \text{tg}\,\beta$; au delà le couple devient négatif, ce qui indique un effet de freinage.

On voit en passant que ce diagramme présente de grandes analogies avec celui du moteur-série, et que les défauts sont analogues; ils sont cependant atténués en ce qui concerne le couple de démarrage, dont le maximum peut coïncider avec un facteur de puissance meilleur que celui du moteur-série. Cet effet est d'ailleurs évident, puisque l'induit se comporte en partie comme un circuit secondaire fermé sur lui-même, réagissant sur le circuit primaire, et tend par conséquent à diminuer la self-induction de ce dernier (d'autant plus que les balais sont plus décalés.) On reviendra plus loin sur ce sujet.

Influence des éléments de construction du moteur. — Le diagramme précédent nous permettra de discuter l'influence des éléments de construction plus simplement et plus clairement que les formules elles-mêmes. Dans ce but nous emploierons l'artifice suivant : la construction du diagramme précédent étant indépendante de la vitesse que l'on choisit pour l'établir, nous sommes en droit pour cette construction de donner à la vitesse dans nos comparaisons des valeurs différentes mais toujours telles que B vienne en b (fig. 20); il en résulte que l'angle ObC dans l'épure de construction (fig. 21) dont nous nous servons pour l'établissement des données M, F, G, Q du diagramme, sera droit [1]. Le segment bC que nous désignerons pour simplifier par J, aura pour valeur

$$J = bC = \frac{bh}{\cos\gamma} = \frac{e'_1}{R_2}$$

en représentant par e'_1, pour simplifier, la force électro-motrice induite en retour par le courant statique secondaire, définie par

$$e'_1 = \frac{\Omega M_0^2 \sin^2\beta}{L_1}\ Ob$$

et qui ne dépend que de M_0, L_1 et sin β, mais pas de R_2; de même le segment bd deviendra alors égal à

$$J' = \frac{e'_1}{\Omega L_2}.$$

Cela posé, nous pouvons voir tout d'abord quelle est l'influence d'une variation de la résistance du rotor R_2. Elle ne modifie pas directement le segment db qui en est indépendant, mais elle fait varier le segment bC en raison inverse de R_2. bC étant perpendiculaire à Ob, le point d, quand on passe d'une valeur de R_2 à une autre, reste donc toujours sur un cercle décrit sur OC comme diamètre; d'autre part, le point d décrit une circonférence semblable, c'est-à-dire telle que $\frac{dO}{bO}$ égale constante. La ligne bM parallèle à dC rencontre donc OM en un point M tel que $\frac{OM}{OC} = \frac{Ob}{dO} = \frac{1}{\sigma}$ constante, c'est-à-dire que le point M sera fixe, quelle que soit la valeur de la résistance secondaire R_2; tandis qu'il est facile de voir sur la figure que l'angle OdC $= \pi - \gamma$ devra aller en diminuant, depuis la valeur π quand le point d se trouve en C, jusqu'à la valeur $\frac{\pi}{2}$ quand le point d vient en O. La première

[1] Il est bien entendu que cette figure n'est qu'une figure servant à la construction des cercles lieux des points D, B et H, et qu'une fois ces cercles tracés, l'angle OBC n'est plus égal à $\frac{\pi}{2}$, mais a une valeur quelconque.

Digitized by Google

position correspond à une valeur infinie de la résistance R_2, et la seconde à une valeur nulle de la résistance R_2. Les cercles représentatifs du point B seront donc bien toujours construits sur OM comme corde, mais avec des rayons décroissants depuis une valeur infinie pour $R_2 = \infty$ jusqu'à une valeur égale à $\frac{OM}{2} = \frac{I_0}{2\sigma}$ quand la résistance R_2 deviendra zéro, ainsi que le montre la figure 21.

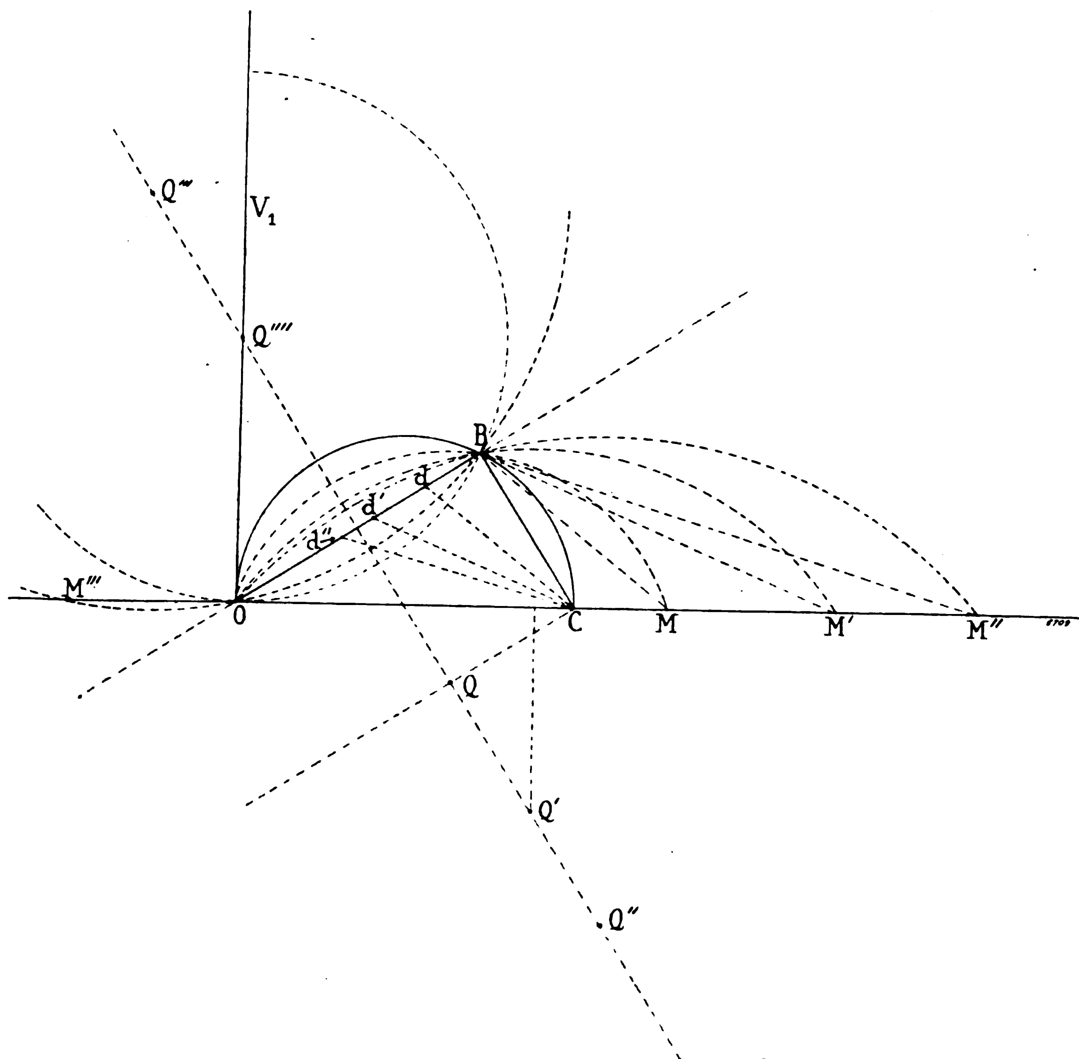


Fig. 22.

On peut chercher (fig. 22) l'influence de la self-induction de l'induit (y compris celle ajoutée entre les balais éventuellement) sur la forme du diagramme, en se donnant cette fois une valeur constante de $J' = Cd$ et en supposant variable le segment dB en raison inverse de la self-induction L_2 conformément aux formules données ci-dessus de J et J′. On voit alors immédiatement, sans changer la position du point B correspondant à la valeur donnée de J′, que la droite BM, parallèle à dC, rencontrera l'axe OM à une distance de C croissante avec la longueur Bd, c'est-à-dire en sens inverse à la self-inductance L_2. Si celle-ci pouvait être annulée, le cercle de fonctionnement de B se confondrait avec le cercle

Digitized by Google

de construction OBC de la figure. Si par introduction de capacités dans le circuit extérieur des balais, la self-induction apparente totale L_2 devient telle que d vient en O, c'est-à-dire que

$$I_1 = J' = \frac{\Omega M_0^2 \sin^2\beta I_1}{\Omega L_2 L_1};$$

d'où

$$\frac{M_0^2}{L_1 L_2} \sin^2\beta = 1;$$

tout se passe comme si le coefficient de fuite σ devenait nul ; le diamètre du cercle de fonctionnement de B sera infini, et ce cercle se confondra avec la droite OB de la présente épure. Si (toujours par l'addition de capacités), la self-induction continue à décroître, de manière que le point d passe en d' au-dessous de O, le point C se déplace sur la droite OC, mais à gauche en se rapprochant de l'infini jusqu'au point O; le cercle de fonctionnement passant par les points MOB aura donc sa concavité tournée vers le haut, tandis qu'il avait auparavant sa convexité tournée vers le haut. Si on pouvait rendre nulle complètement l'inductance totale du circuit induit, le centre du cercle viendrait en Q au-dessus de la ligne OC (à laquelle il serait tangent) et sur la perpendiculaire élevée au milieu de OB [1]

Tout ce qui augmente σ diminue la longueur OM et le courant maximum $\frac{I_0}{\sigma}$. Une augmentation d'entrefer produit cet effet, mais d'une façon relativement moins considérable que dans les moteurs d'induction; car σ est bien plus influencé par sin θ que par σ_0 (p. 331).

Moyens de régler la vitesse sans toucher aux balais. — On voit aisément (fig. 20) en examinant le déplacement des points S et B sur les deux petits cercles, quand le cercle OBM

---

[1] Si même (théoriquement) par l'addition des capacités dans le circuit secondaire on pouvait rendre la self-inductance de celui-ci négative, la ligne BM viendrait alors rencontrer le segment OC entre les points O et C, non plus à l'extérieur, de sorte que le diamètre du cercle Q irait en diminuant. La figure 23 représente plus clairement ces conditions ; Q est le centre du cercle correspondant à l'inductance nulle, construit avec CH parallèle à OB : Q' est le centre d'un cercle correspondant à une self-inductance négative, et sa construction se fait de la manière suivante : l'angle γ que forme la droite bH' par rapport à BC est porté dans le sens de l'*avance* au lieu du retard, et l'on trace la droite CH' perpendiculaire à bH', jusqu'à sa rencontre D', avec Ob : l'angle en D', qui est constant, est égal à γ. En traçant bM' parallèle à D'C, on obtient le segment OM' sur lequel doit être tracé le cercle bM'O, de centre Q', capable de l'angle γ.

Il convient de remarquer qu'une partie seulement de ces cercles Q et Q' correspondrait à des régimes réellement utilisables.

Pour cercle Q, par exemple, un point B'' situé au-dessus de b correspond à des vitesses négatives, comme on s'en rend compte aisément en traçant le triangle B''H''C, car le segment H''C proportionnel à la vitesse est porté en sens inverse des vitesses positives ; le régime de démarrage du cercle Q est le point b lui-même : les seuls régimes utilisables sont donc ceux compris entre O et b. De même pour le cercle Q', on voit que le régime b correspond à une vitesse négative et le régime de démarrage doit être intermédiaire entre b et M' ; ce dernier point correspond lui-même à une puissance nulle. Il n'y a donc qu'une région utilisable du moteur extrêmement étroite et ne donnant que des couples négligeables.

Ces considérations théoriques montrent donc qu'il n'y a rien à gagner par l'emploi de grandes capacités rendant les self-inductances nulles ou négligeables, et qu'on doit se contenter d'inductances telles que le décalage reste positif. Celui pour lequel le cercle de b se réduit à la droite OB elle-même (fig. 22) conduit d'ailleurs à un couple moins satisfaisant que ceux que l'on obtient avec des inductances plus faibles ; en effet le cercle de D correspond alors avec la droite OC elle-même, et, par suite, le point de démarrage serait déterminé par la verticale élevée de C jusqu'à la rencontre avec Ob.

Cette discussion du rôle des capacités n'a d'ailleurs qu'un intérêt théorique ; car en général l'inductance du circuit secondaire de l'induit est grande et du même ordre que celle de l'inducteur et l'emploi de condensateurs est resté coûteux et peu pratique. On peut seulement la réduire en ajoutant, suivant la ligne des pôles inducteurs comme on l'a fait pour les moteurs en série décrits précédemment, un circuit compensateur, dont l'action est d'autant plus efficace que le calage des balais se rapproche davantage de la ligne neutre.

Digitized by Google

s'aplatit, que le couple, proportionnel à $OB \times SB$, sera maximum quand le cercle OBM aura OM pour diamètre ($R_2 = 0$), décroîtra quand R_2 augmentera, et deviendra nul pour $R = \infty$. La variation du couple de démarrage en fonction de R_2 (ou de γ qui en découle) est mise en évidence par la figure 25 dans laquelle les angles BCD, B'C'D' sont droits, comme on le sait, les lignes BC et B'C, passant par les centres G, G' des cercles auxiliaires définis plus haut $\left(\text{le point } B_1 \text{ est le plus élevé possible, } B_1P' = \frac{CM}{2}\right)$.

Cette variation est toute différente, comme on voit, de celle qu'on connaît pour les

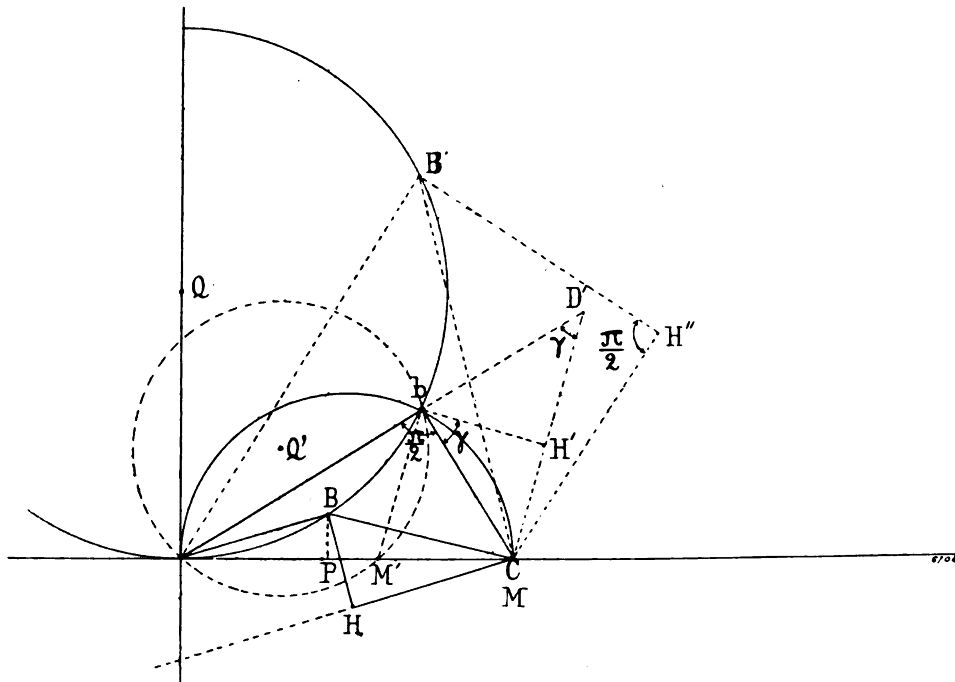


Fig. 23.

moteurs d'induction sans collecteur; c'est que, dans ces derniers, la résistance a pour rôle utile d'empêcher le décalage du courant secondaire, qui, ici au contraire, est nécessaire pour qu'il soit en phase avec le courant primaire.

Le point de rencontre b du grand cercle OBM avec le petit cercle ObC sera d'autant plus reporté à gauche de C (fig. 21) que R_2 sera plus petit ; la vitesse, proportionnelle à $\frac{hC}{hB}$, qu'on pourra réaliser à vide sera donc d'autant plus élevée que la résistance sera plus faible ; ce qui est d'ailleurs évident. L'addition de résistances dans le rotor peut donc être un moyen commode de réglage de la vitesse, comme l'a imaginé la Société de Oerlikon.

On verrait de même par la figure 22 qu'une addition de self-inductance au rotor augmente la vitesse maxima, tout en diminuant le couple disponible.

Calage des balais. — Il nous reste à étudier maintenant l'influence du calage des balais, qui joue un rôle naturellement considérable dans les résultats obtenus.

Tout d'abord ce calage influe, comme on l'a dit plus haut déjà, sur l'échelle des vitesses, c'est-à-dire sur le rapport de l'angle CBH à l'angle $\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)$ correspondant à la vitesse du synchronisme, car :

$$\frac{HC}{BH} = \frac{j_1}{j_2} = \operatorname{cotg} \beta \frac{\omega}{\Omega}$$

Digitized by Google

d'où, si l'on appelle α l'angle HBC,

$$\frac{\omega}{\Omega} = \operatorname{tg}\beta \operatorname{tg}\alpha = \frac{HC}{BH}\operatorname{tg}\beta \left(\text{qui se réduit à } \frac{HC}{BH} \text{ quand } \beta = 45^\circ\right)$$

L'angle α qui correspond au synchronisme est donné par l'expression :

$$\operatorname{tg}\alpha = \operatorname{cotg}\beta$$

En outre l'influence du calage se fait encore sentir très fortement sur la grandeur du

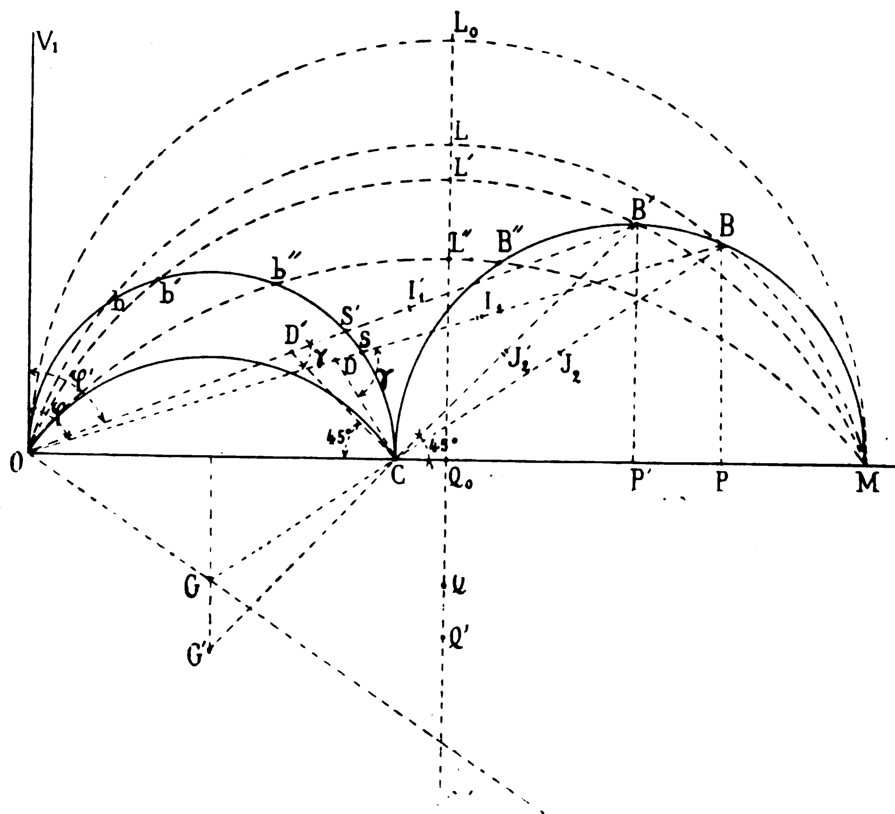


Fig. 24.

segment bC employé pour la construction du diagramme sur l'épure de construction (fig. 24). Ce segment varie, en effet, proportionnellement au carré du sinus du décalage

$$bC = \frac{\Omega M_0^2 \sin^2\beta\, I_1}{L_1 R_2}$$

L'effet produit par une augmentation de β sur la construction du diagramme consiste donc dans une réduction des dimensions du triangle dbC, qui reste cependant semblable à lui-même. Si donc $OdbCM$ est la figure de construction qui donne la droite bM, pour la valeur $\beta = 90^\circ$ ($\sin\beta = 1$), la même figure de construction sera remplacée par $Od'b'CM'H$, dans laquelle le segment $b'C$ est égale à bC multipliée par le facteur de réduction ($\sin\beta$). La droite $b'M'$ parallèle à $d'C$ coupera l'axe de base en un point M' plus rapproché de C que le point M. D'ailleurs la longueur CM est donnée directement par l'expression indiquée plus

Digitized by Google

haut

$$CM = OC \frac{1}{1-(1-\sigma_0)\sin^2\beta}$$

qui met bien en évidence la diminution de OM quand le calage diminue ; il est d'ailleurs bien évident qu'en amenant les champs inducteur et induit à angle droit, on produit une augmentation des fuites magnétiques relatives de l'induit et de l'inducteur.

Pour chaque valeur de sin β, on aura ainsi un point *b* différent, mais le point *d* restera toujours sur le même cercle construit sur OC comme corde. Tous les cercles lieu du point B

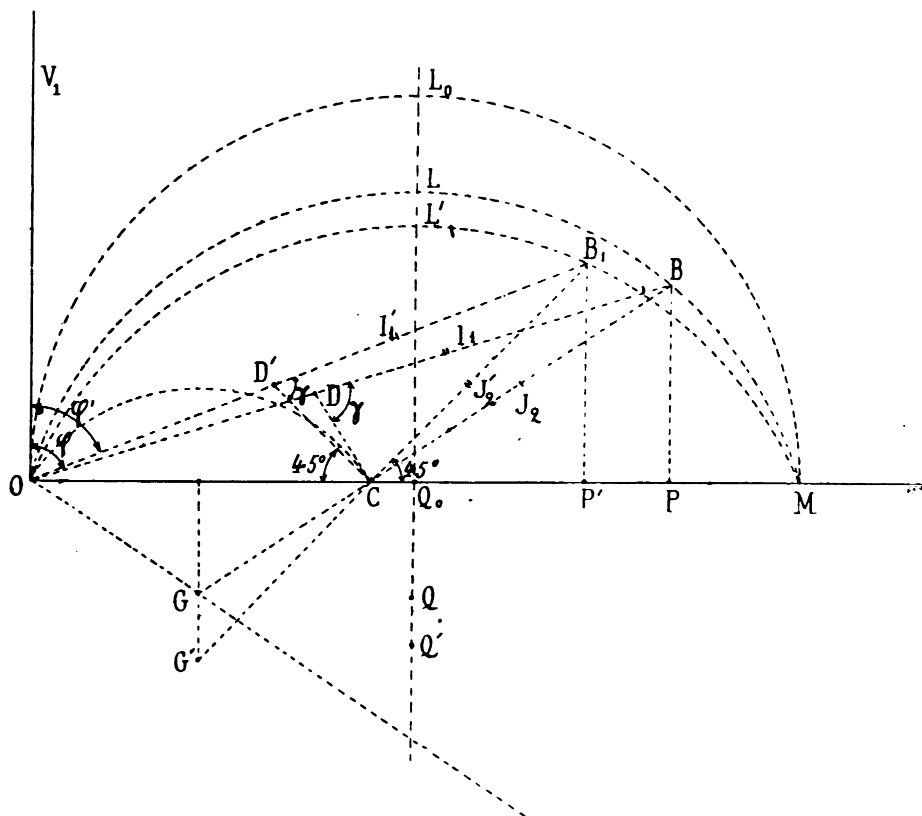


Fig. 25.

qui seront construits en conséquence avec des cordes différentes OM, OM' etc., seront capables du même angle $\pi - \gamma$, puisque la self-induction de l'induit est indépendante du calage des balais (grâce à la forme de l'inducteur continu ; il en serait autrement si l'on avait un inducteur à pôles ; L_2 varierait alors avec le calage des balais). Tous les cercles ont donc une tangente commune au point O et leurs dimensions vont en croissant au fur et à mesure qu'on augmente le décalage β, jusqu'à la valeur limite OM correspondant au décalage de 90°.

Ce diagramme donne bien les valeurs *relatives* des courants, c'est-à-dire indique comment varie le courant, à calage fixe, à partir du démarrage (position B_0), mais il faut prendre des précautions pour en déduire les variations du couple avec le décalage β. Il ne faut pas croire en effet que le couple augmente simplement proportionnellement à OB × SB lu sur

Digitized by Google

l'épure ainsi tracée (fig. 20), car le couple contient en outre un facteur cotg β dont elle ne tient pas compte ; il convient, pour mesurer les couples, d'affecter aux ordonnées de chaque cercle de fonctionnement un facteur de réduction proportionnel à la cotangente du décalage ; quand $\beta = \frac{\pi}{2}$, l'effort moteur se réduit à o, ce qui est facile à concevoir puisque les axes des champs du stator et du rotor sont alors en concordance et ne produisent aucun couple. On voit ainsi que la loi de variation des efforts est fort différente de celle qu'indique, à première vue, l'accroissement du diamètre des cercles.

On a vu plus haut, par la formule du couple, que le couple maximum de démarrage correspondant *à un courant donné* s'obtient en supposant $\beta = 45°$, et que la résistance la plus favorable au démarrage pour un moteur donné, et avec un décalage des balais donné, est celle qui se rapproche le plus de o.

Au lieu de chercher le couple de démarrage le plus avantageux pour un courant donné, c'est-à-dire celui qui permet d'obtenir le plus grand effort par ampère dépensé, on peut se proposer de connaître, comme pour un moteur d'induction, le plus grand couple possible au démarrage, en fonction de B, en cherchant le maximum de l'expression donnée plus haut.

$$C = \frac{\Omega M_0^2 L_2 \sin\beta \cos\beta}{Z_2^2} \frac{U^2_1}{(R_1 + a^2 R_2)^2 + \Omega^2 L^2_1 [1 - (1 - \sigma_0) \sin^2\beta]}.$$

Si l'on néglige au dénominateur la résistance apparente $R_1 + a^2 R^2$ devant l'inductance, il suffit de déterminer le maximum de

$$\frac{\sin\beta \cos\beta}{1 - (1 - \sigma_0) \sin^2\beta};$$

d'où en annulant la dérivée

$$(\cos^2\beta - \sin^2\beta) [1 - (1 - \sigma_0) \sin^2\beta] + 2 (1 - \sigma_0) \sin^2\beta \cos^2\beta = 0$$

ou

$$\cos^2\beta - \sigma_0 \sin^2\beta = o ;$$

d'où

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{\sigma_0}.$$

Le couple maximum sera donc atteint par un décalage en général bien supérieur à celui qui donne la meilleure utilisation du courant ; et le rapport des deux est, en remplaçant β par sa valeur,

$$\frac{\frac{\sigma_0}{1 + \sigma_0^2}}{1 - \left(\frac{1 - \sigma_0}{1 + \sigma_0}\right)} : \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1 - \sigma_0}{2}} = \frac{\sigma_0}{(\sigma + \sigma_0^2)(1 + \sigma_0)} = \frac{1}{(1 + \sigma_0)^2}.$$

On voit que le maximum est peu supérieur à la valeur obtenue pour $\beta - \frac{\pi}{4}$, c'est-à-dire

$$C = \frac{\Omega M_0^2 L^2}{2 Z_2} \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{M_0^2}{2 Z_2^2} R^2\right)^2 + \frac{\Omega_2^2 L_1^2}{2} (1 + \sigma o)}.$$

Digitized by Google

Telles sont les conditions du couple maximum pratique.

Effet d'un changement de signe du calage des balais ou de la marche. — Dans ce qui précède nous avons supposé toujours le calage effectué en arrière, parce que c'est là condition qui permet au courant induit par la rotation de donner lieu à des ampères-tours qui aident à la production du champ (contrairement aux ampères-tours de l'induit dus à l'induction statique, qui sont toujours démagnétisants).

Le *changement de marche* s'effectue en changeant *à la fois* le signe du calage et le sens de la rotation, ce qui n'entraîne aucune modification du diagramme ; les vitesses reprennent les mêmes valeurs dans le sens opposé. Supposons, au contraire que l'on veuille conserver le même sens de marche, tout en modifiant l'angle β.

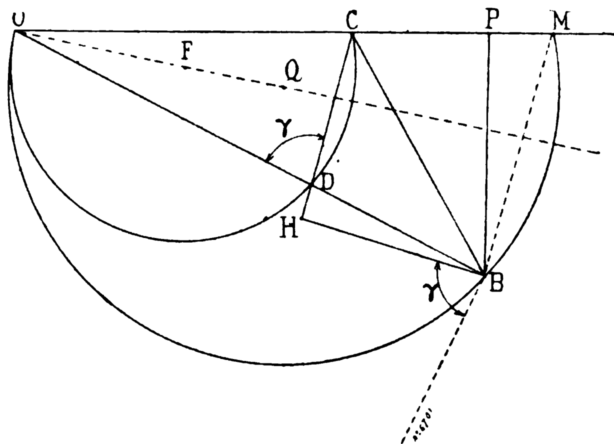


Fig. 26.

Si l'on inverse le calage des balais, les ampères-tours produits par le courant dynamique agiront en sens inverse (c'est-à-dire démagnétisant), bien qu'ils n'aient pas changé de signe en eux-mêmes, mais parce que leur axe sera opposé partiellement à l'axe de production du champ inducteur ; les ampères-tours induits statiquement resteront encore démagnétisants, parce que leur signe change en même temps que leur sens de réaction. Dans les formules ces modifications sont exprimées par le changement de signe de sin β, qui doit être considéré comme une variable algébrique ; sur le diagramme ce changement se traduit donc par un changement de signe du vecteur HC représentant l'effet du courant dynamique ; la longueur

$$DH = \frac{M_0}{L_1} \sin\beta\, i_1 = \frac{\Omega M_0^2}{Z_2} \sin^2\beta\, I_1\, \omega \cos\beta$$

devra donc être portée dans le sens DH au lieu du sens ordinaire DC (fig. 26) ; il en résulte que l'angle ODC ne représentera plus comme précédemment la valeur $\pi - \gamma$, mais la valeur γ elle-même, et sera par conséquent aigu au lieu d'être obtus. Cela ne change pas la forme du cercle, lieu de B, et capable de l'angle $\pi - \gamma$ au-dessus de la corde OC. Mais on voit que l'énergie devient ainsi, en général, *négative*, parce que le passage du point B au-dessous de l'axe OM change la direction de BP. Les régimes ainsi obtenus en inversant le calage des balais seront donc des régimes de freinage, puisque le couple, de moteur qu'il était, devient résistant (par changement de signe de tang β), sans que la vitesse ait changé de signe. C'est un freinage avec récupération, puisque la puissance P_1 dépassée est devenue négative.

Ils pourront être également des régimes de production de courant, c'est-à-dire que la machine fonctionnera comme génératrice, s'ils sont obtenus en inversant, non le calage β, mais *le sens de la rotation* seul.

Il convient de remarquer qu'il revient d'ailleurs au même, pour l'aspect du diagramme, d'inverser le sens de la vitesse ω en conservant le calage des balais β en arrière, ou d'inverser le calage en conservant le sens de la vitesse ; car dans toutes les formules (sauf celle du couple) la vitesse n'entre que par des termes en ($\omega \sin\beta$) dont le signe change

****

aussi bien, qu'on change le signe de ω ou de β. Mais au contraire, dans la formule du couple, un changement de signe de β ne change que le signe de cotg β qui figure au numérateur; le sens du couple $\overline{OB}$. $\overline{SB}$ cotg β correspondant à un même courant I_1 est donc dépendant du sens du calage, mais non du signe de la vitesse.

La figure 27 montre qu'il existe encore un cas intéressant de fonctionnement, celui

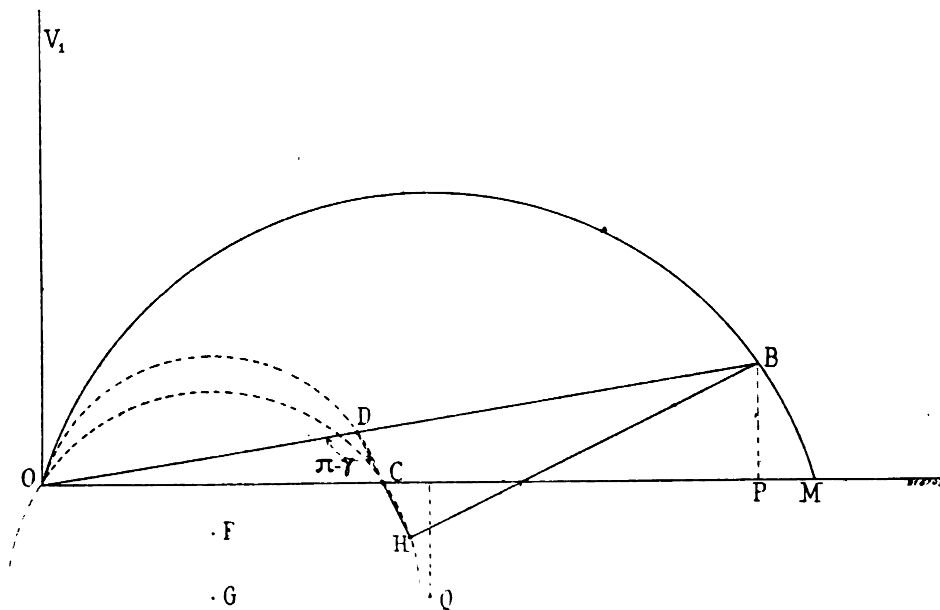


Fig. 27.

d'une vitesse négative (B ayant dépassé le point de démarrage) avec dépense d'énergie, et cependant le couple résistant. C'est un freinage partiel sans récupération.

Analogie du moteur-série. — On mettra facilement le moteur à répulsion en comparaison avec le moteur-série, en considérant tout de suite le cas limite, très intéressant au point de vue théorique (et peu éloigné de la réalité quand on n'ajoute aucune résistance de réglage entre les balais), c'est-à-dire l'hypothèse d'une résistance secondaire nulle. Dans ce cas, le vecteur BH vient sur la direction BO elle-même, et l'angle OBM devient droit. L'épure de fonctionnement prend alors l'aspect représenté par la figure 28 et ressemble beaucoup à l'épure du moteur-série, dont l'induit produirait un effet antagoniste (contre ampères-tours) représenté par BH; mais il y a une différence accessoire qu'il ne faut pas négliger, c'est que le couple est représenté par le produit de OB par la projection de CB, tandis que dans le moteur-série il serait représenté par la projection horizontale OP. Cette différence provient de ce que le courant du rotor est produit par induction et non par conduction. Elle a pour résultat de donner au moteur à répulsion une loi de variation du couple et du facteur de puissance notablement différente de celle du moteur-série.

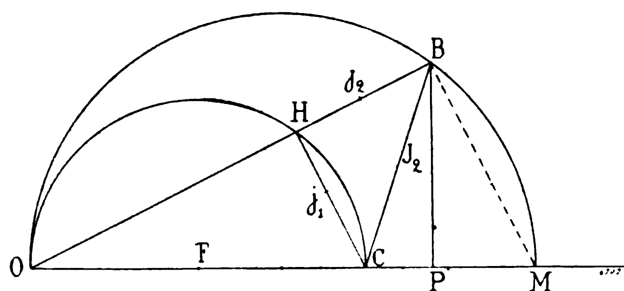


Fig. 28.

Digitized by Google

En outre la loi de variation du couple peut être modifiée par la résistance du circuit d'induit, comme on l'a vu plus haut, d'une façon analogue à ce qui a lieu pour les moteurs d'induction. En augmentant R_2 on aurait le couple de démarrage et le facteur de puissance correspondant. Enfin cette loi change en fonction de l'angle de décalage d'une façon toute différente de celle à laquelle donne lieu le moteur-série. Si donc il y a de grandes analogies entre les deux appareils, surtout quand on suppose la résistance d'induit nulle, il ne faut pas en conclure l'identité de leurs propriétés, bien loin de là.

(*A suivre.*)

A. Blondel.

QUELQUES BREVETS SUR LA TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Les dispositifs de télégraphie sans fil ne cessent pas d'affluer aux bureaux des patentes. Parmi les derniers brevets américains sollicités nous signalerons les suivants :

Tout d'abord M. A. F. Collins revendique par le brevet n° 21744 de 1901 la propriété du dispositif qui suit : le circuit secondaire de la bobine d'induction d'un poste transmetteur est relié d'une part à un condensateur, d'autre part à la terre. Il en est de même pour

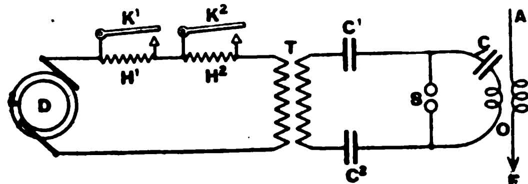


Fig. 1. — Dispositif de transmetteur à un excitateur de MM. Fleming et Marconi.

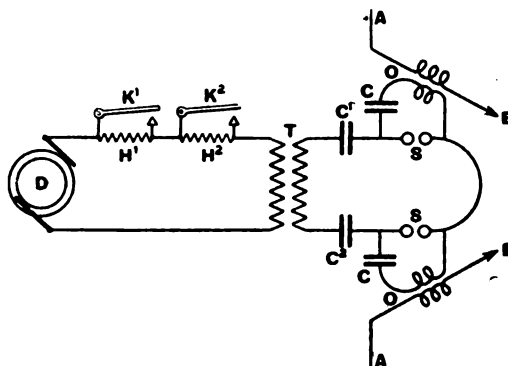


Fig. 2. — Dispositif de transmetteur à deux excitateurs de MM. Fleming et Marconi.

l'organe de réception, un téléphone, dont une extrémité est reliée à la terre et la seconde à un condensateur. Selon que l'on introduit ou non, par la manœuvre d'une clef appropriée le condensateur dans le dispositif récepteur, les interruptions de la bobine d'induction présentent une fréquence ou une autre. Le téléphone est alors susceptible de produire deux sons de tonalité différente que l'on combine entre eux à la manière des traits et des points de l'alphabet Morse. Il ne faut pas rechercher beaucoup dans la littérature des brevets ni dans celle des descriptions de dispositifs télégraphiques pour rencontrer sinon l'agencement même préconisé par M. Collins, du moins des combinaisons offrant de très étroites analogies avec celle qui fait l'objet du présent brevet.

La méthode de production des ondes électriques que MM. Fleming et Marconi brevètent sous le n° 24825 de la même année, ne semble pas non plus très nouvelle dans ses lignes générales.

Digitized by Google

Deux condensateurs sont associés dans cette combinaison ; l'un d'eux jouerait, d'après les auteurs, le rôle de condensateur actif, l'autre le rôle de condensateur d'arrêt.

La figure 1 est relative à l'emploi d'une antenne unique et d'un seul exploseur. Voici la légende de ce schéma : D est une dynamo à courant alternatif dont le courant parcourt le primaire du transformateur T. Deux bobines de self H_1 et H_2, susceptibles d'être chacune court-circuitée par les clefs K_1, K_2, permettent de faire varier l'inductance et d'obtenir ainsi le meilleur réglage de syntonie que chaque inventeur prétend toujours résoudre d'une manière parfaite. Le circuit du secondaire du transformateur T comprend l'exploseur S et deux condensateurs C_1, C_2, symétriquement placés par rapport à T et à S. On peut ne disposer qu'un seul condensateur C_1, mais il est préférable d'en utiliser deux qui doivent alors présenter chacun une capacité double de celle du condensateur actif C. Ce condensa-

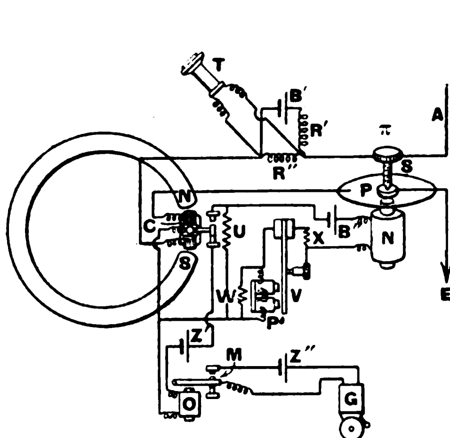


Fig. 3. — Radioscope de M. S.-G. Brown.

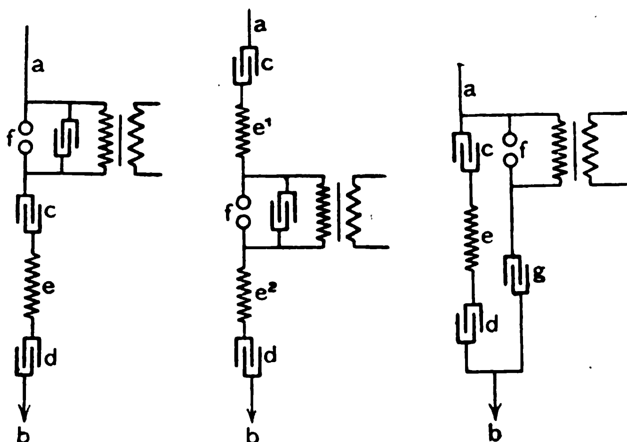


Fig. 4, 5 et 6. — Dispositifs syntoniques de transmission de MM. Lodge et Muirhead.

teur actif C se trouve ainsi que le primaire d'un transformateur d'oscillation O (alias jigger) en dérivation sur l'exploseur. Enfin l'antenne A est reliée à l'une des extrémités du secondaire du jigger dont l'autre extrémité est à la terre E.

Si l'on utilise deux exploseurs la combinaison est alors celle représentée par le schéma de la figure 2. Les deux exploseurs S, S sont disposés en série avec les condensateurs C_1 C_2 dans le circuit secondaire du transformateur T. En dérivation sur chaque excitateur S se trouve branché un condensateur C (condensateur actif) suivi du primaire d'un jigger O. Deux fils d'antenne AA sont reliés aux extrémités de chaque jigger O, O dont les extrémités libres sont mises à la terre E, E.

A tout considérer, ces dispositifs ne laissent de présenter une étroite parenté avec certaines combinaisons de condensateurs et d'excitateurs préconisées par M. Tesla. Cela n'empêche pas les auteurs de revendiquer la propriété exclusive : 1° D'un appareil de production des ondes par l'interposition d'un ou de deux condensateurs en relation avec les extrémités du secondaire d'un transformateur alimenté par un courant alternatif, condensateurs reliés d'autre part à l'excitateur ; 2° Du dispositif précédent comprenant un ou plusieurs excitateurs en série, chacun d'eux étant courtcircuité par un condensateur *actif* et le primaire d'un transformateur d'oscillation (jigger).

Avis aux inventeurs qui croient pouvoir disposer pour la transformation ou la production des ondes hertziennes des arrangements préconisés par M. Tesla ou d'arrangements

Digitized by Google

analogues. La Wireless Telegraph C° en revendique l'exclusive possession. Cela aura-t-il lieu de beaucoup étonner ceux d'entre nos lecteurs qui connaissent les prétentions que les quasi mandataires de M. Marconi n'ont pas craint de manifester à la récente conférence internationale de Berlin (1) ? Nous ne le pensons pas.

Sir O. Lodge, le Dr Muirhead et M. E. Robinson, brevètent sous le n° 13521 (1902) un cohéreur qui consiste en une pointe métallique qui plonge dans un vase contenant du mercure au-dessus duquel se trouve une couche d'huile. En général une très mince pellicule d'huile est interposée entre la pointe métallique et le mercure. Quand des ondes électriques atteignent le cohéreur, la pellicule d'huile se trouve rompue et la cohésion se produit. Un courant s'établit alors et enregistre le signal ; en même temps la pointe métallique est retirée du mercure et plongée immédiatement à nouveau dans l'huile, de manière à se retrouver dans les conditions voulues de sensibilité.

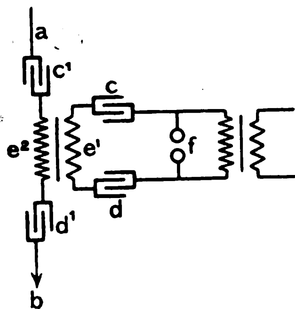


Fig. 7. — Dispositif syntonique à transmission Tesla de MM. Lodge et Muirhead.

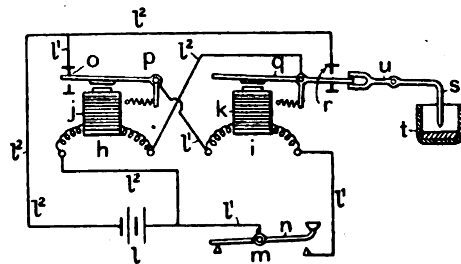


Fig. 8. — Schéma de mécanisme de manipulation préconisé par MM. Lodge et Muirhead.

Un dernier brevet de 1902 a été pris sous le n° 750 par M. S. G. Brown. Il a trait à l'emploi comme récepteur de télégraphe sans fil d'un dispositif dénommé radioscope dont la figure 3 représente un schéma. Le cohéreur est constitué par une pointe métallique π qui appuie sur un disque d'acier P monté sur un diaphragme S. Le tout est intercalé dans le circuit AπR″CSPE comprenant l'antenne A, une résistance R″, les bobines d'un relais C, le cohéreur PS et la terre E. Un téléphone en dérivation aux extrémités de la résistance R″ ferme le circuit d'une pile locale B′, circuit qui comprend la résistance inductive R′. De cette manière les signaux peuvent être reçus au son si c'est nécessaire. Si le cohéreur est influencé le courant de la pile B′ traverse les bobines du relais C. Lorsque l'armature de ce relais est en repos le courant d'une deuxième pile B″ traverse la résistance U, le trembleur V et l'électro-aimant N. Le trembleur V, actionné par l'électro P′, est constamment en marche de telle sorte que l'électroaimant N est constamment parcouru par un courant vibré, mais l'intensité de ce courant n'est, en général, pas suffisante pour qu'il se produise des vibrations du diaphragme S. Si des ondes hertziennes impressionnentle cohéreur, le relais se trouvant actionné, la résistance U est mise en court-circuit et le courant vibré qui traverse N se trouve avoir acquis alors une intensité suffisante pour faire vibrer le diaphragme S : la décohésion se produit donc. Lorsque le relais fonctionne, le courant d'une pile Z′ se trouve par instants fermé à travers la bobine d'un électro-aimant O qui, attirant la palette M, produit la mise en marche d'une sonnerie G que comprend un circuit Z″MG dont le courant est entretenu par la pile Z″.

(1) Voir A. Turpain. La Conférence internationale de Berlin sur la télégraphie sans fil. *Ecl. Elect.*, 31 octobre 1903, t. XXXVII, p. 161.

Digitized by Google

Le brevet n° 10181 est garanti à sir O. Lodge et au Dr Muirhead à la date du 2 juin 1903. Ce brevet a trait à des dispositifs syntoniques, récepteurs et transmetteurs. Dans le but de perfectionner l'accord des appareils, les inventeurs ont ajouté un condensateur aux deux surfaces conductrices formant capacité, l'antenne et la terre. Cette capacité additionnelle est disposée en série avec les deux premières. Plusieurs combinaisons en partie décrites dans la spécification d'un brevet accordé à l'un des auteurs (Brevet Lodge n° 11575 de 1897) sont représentées dans les figures 4, 5, 6 et 7. Toutes ces combinaisons comportent l'emploi d'une bobine de self-induction variable disposée entre deux condensateurs dont la capacité de l'un d'eux au moins est rendue variable, ce qui permet de parfaire l'accord nécessaire à la syntonie.

La figure 4 représente un dispositif transmetteur dans lequel l'exploseur f est relié d'une part directement à l'antenne a et séparé d'autre part de la terre b par deux capacités (condensateurs c et d, dont l'un réglable) comprenant entre elles une self-induction e également réglable. Dans le schéma (fig. 5) les deux capacités c et d sont symétriquement

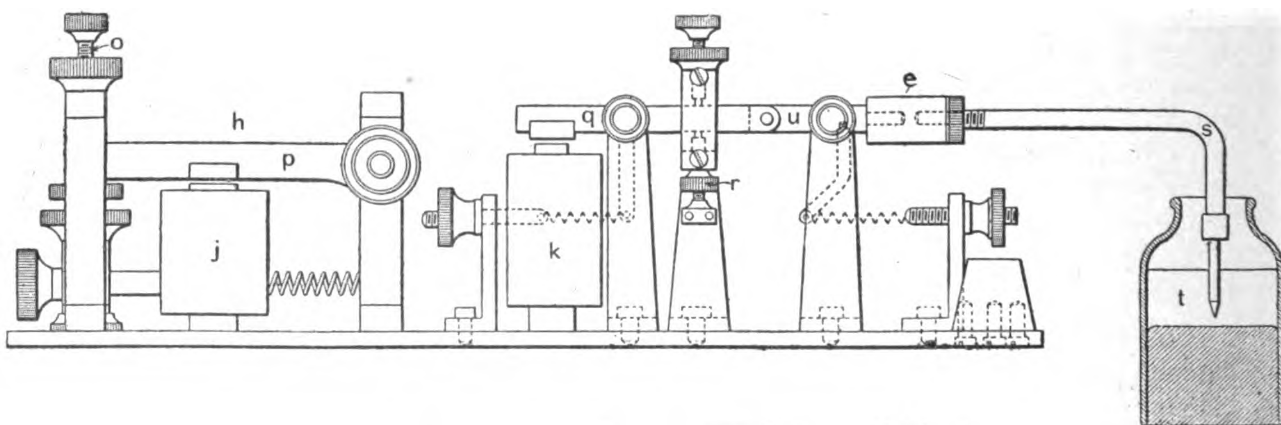


Fig. 9. — Coupe du manipulateur de MM. Lodge et Muirhead.

réparties de part et d'autre de l'excitateur f; il en est de même de la self-induction qui est alors dédoublée en deux bobines e_1 et e_2. La figure 6 a trait à une variante des dispositifs précédents : L'antenne a est reliée à la terre b par l'intermédiaire des capacités c et d et de la self-induction e disposées toutes trois en série. L'excitateur f est alors placé ainsi qu'un troisième condensateur g dans un circuit dérivé reliant l'antenne à la terre. Si l'on emploie pour produire les ondes le mode préconisé par Tesla, le schéma de la figure 7 montre la façon dont les choses sont agencées. L'antenne a est reliée à un condensateur c_1, connecté lui-même au secondaire e_2 d'un transformateur Tesla de primaire e_1. L'extrémité de ce secondaire e_2 est reliée à la terre b par l'intermédiaire d'un second condensateur d_1. L'excitateur f et le primaire e_1 du transformateur Tesla sont reliés à deux condensateurs c et d suivant l'une des manières proposées par M. Tesla.

Le brevet de MM. Lodge et Muirhead décrit en détails le mécanisme employé pour la manipulation. La figure 8 en indique schématiquement le dispositif, la figure 9 représente une coupe de l'appareil avec tous les détails. On voit dans le schéma (fig. 8) que deux électro-aimants h et i à palettes p et q sont employés. La palette p peut osciller entre deux butoirs o ; au repos un ressort antagoniste la maintient dans la position figurée. La palette q mobile entre deux butoirs r et soumise également à l'action d'un ressort antagoniste, s'appuie au repos dans la position dessinée ; l'extrémité de cette seconde palette q est articulée

Digitized by Google

avec un levier coudé *us* mobile autour d'un axe *u* et dont l'extrémité coudée terminée en pointe *s* plonge dans une coupe de mercure *t*. Grâce à cet agencement l'attraction de la palette *q* par l'électro *i* a pour effet de faire plonger la pointe *s* dans le mercure. C'est cette plongée de *s* dans le mercure qui ferme le circuit primaire de la bobine d'induction employée. Les électro-aimants sont actionnés et reliés entre eux de la manière suivante. Lorsqu'une clef de Morse *mn* est abaissée, le circuit de la pile *l* se ferme par $l\,l_1\,m\,n\,l_1\,k\,l_1\,p\,o\,l_1\,l_2\,l$ à travers la bobine *k* de l'électro *i*; la palette *q* est attirée, la pointe *s* plonge dans le mercure. Mais alors le contact de la palette *q* avec le butoir *r* ferme le circuit dérivé $l\,l_2\,j\,l_2\,q_2\,r\,l_2\,l_2\,l$, la palette *p* de l'électro *h* se trouvant alors attirée le courant de la pile se trouve interrompu dans l'électro *i* et la palette *q*, cédant à l'action du ressort antagoniste, revient



Fig. 10 et 11. — Bandes perforées, système Wheatstone ; représentation de points (fig. 10) et de traits (fig. 11).

au repos ; la pointe *s* sort du mercure. Le courant est alors interrompu dans l'électro *h* et la palette *p* revenant en *o* rétablit le courant dans l'électro *i*. Il se produit donc durant tout le temps que la clef Morse *mn* est fermée, une suite interrompue de mouvements alternatifs des palettes *p* et *q* entre leurs butoirs, ce qui a pour effet de produire autant de fermetures et de ruptures du circuit primaire de la bobine d'induction employée, d'où l'émission d'un cortège d'ondes pendant toute la durée du contact de la clef Morse. — La coupe de l'appareil donnée par la figure 9 montre les détails : on y voit les divers boutons de réglage qui permettent de tendre plus ou moins les ressorts antagonistes et de limiter la course des palettes entre leurs butoirs. On y voit également que la partie coudée *s* du levier *us* est isolée de la portion articulée par la pièce d'ébonite *e*.

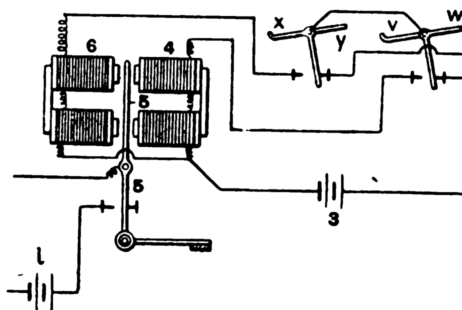


Fig. 12. — Schéma d'un dispositif de transmission automatique par l'emploi des bandes perforées système Wheatstone.

Ce brevet comporte encore la description d'un dispositif de transmission automatique utilisant comme dans le télégraphe Wheatsthone des bandes préalablement perforées. Ces bandes sont percées suivant la ligne moyenne d'une série de trous tels que 2 (fig. 10 et 11) qui servent à faire progresser la bande. L'impression d'un point se fait en perforant de part et d'autre de la ligne moyenne deux trous tels que *z* et 1. La bande de la figure 10 représente ainsi la perforation correspondant à deux points successifs. Les traits donnent lieu à la perforation de deux trous successifs situés l'un à droite, l'autre à gauche de la ligne moyenne et en face de deux trous successifs de cette ligne moyenne. La figure 11 indique la perforation correspondant à deux traits successifs. Chaque trait est représenté par les trous 7 et 8 de la figure. Les bandes ainsi préparées passent entre les deux butoirs *v* et *x* des clefs *w* et *y* (fig. 12). Ces deux butoirs ne se trouvent pas tout à fait sur la même perpendiculaire à la ligne moyenne de la bande perforée. Si donc la bande de la figure 10 passe entre ces butoirs la clef *v* s'engageant tout d'abord dans le trou *z* le circuit de la pile 3 se trouve fermé, ce qui fait attirer le levier 5 par l'électro-aimant 4 et le courant de la pile *l* étant fermé une émission d'onde commence à se produire. Très peu de temps

Digitized by Google

après le trou 1 de la bande permet à la clef *x* de s'y engager, alors que le contact de la clef *v* avec son butoir de travail vient de cesser; le circuit de la pile 3 se trouve alors fermé à travers l'électro-aimant 6 et le levier 5 revient par suite dans la position de repos figurée dans le schéma (fig. 12); l'émission d'ondes cesse. La même série de mouvements se produit lorsque la bande perforée de la figure 11 défile entre les clefs *v* et *x* à cela près que la distance qui sépare les trous perforés 7 et 8 produit une émission d'ondes de bien plus longue durée.

Nous ne voyons pas trop l'intérêt que peut présenter en télégraphie sans fil la transmission des signaux Morse par le procédé des bandes perforées du télégraphe Wheatstone. L'économie du dispositif télégraphique de Wheatstone et sa supériorité sur l'appareil de Morse réside dans la bien plus grande rapidité de transmission qu'on peut obtenir en faisant dérouler à très grande vitesse des bandes perforées préalablement préparées. Comme les procédés de la télégraphie sans fil imposent à la vitesse de transmission une limite bien inférieure à celle que permet d'atteindre l'appareil Morse ordinaire, on se trouve en définitive obligé de ne faire progresser les bandes perforées entre les clefs *v* et *x* qu'avec une vitesse au plus égale à celle que permet d'atteindre la transmission par télégraphie sans fil. A quoi bon alors compliquer les dispositifs transmetteurs de perforateurs et de manipulateurs Wheatsthone puisqu'on ne peut atteindre la vitesse de transmission que permet d'obtenir la manœuvre à la main d'une simple clef de Morse ?

A. Turpain.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉCLAIRAGE

L'éclairage électrique des voitures de chemins de fer, par **R. Gœtze**. *Centralblatt f. Accumulatoren, Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 190, 15 août 1903.

L'auteur décrit le système Kull sur lequel M. Ch. Jacquin a déjà donné ici quelques détails [1].

La dynamo shunt commandée par l'essieu tourne à 650 tours par minute pour la vitesse 28 km à l'heure, à 1390 tours par minute pour la vitesse 60 km à l'heure, et à 2320 tours par minute pour la vitesse 100 km à l'heure.

La batterie comprend 9 ou 18 éléments. La figure 1 représente le schéma du montage. R est le régulateur centrifuge qui commande la résistance réglable W et l'interrupteur S. Le régulateur R tourne à la vitesse de la dynamo de sorte que la résistance W introduite dans le circuit d'excitation de la dynamo-shunt D augmente quand la vitesse de celle-ci croît.

Le disjoncteur automatique E se compose d'un solénoïde dont le noyau porte à sa partie inférieure un support sur lequel 3 godets de mercure sont fixés ; 3 tiges réunies par une barrette fixe, peuvent venir plonger dans ces 3 godets de mercure ; au-dessous deux autres godets de mercure peuvent être reliés par un pont fixé au même noyau. L'enroulement du solénoïde qui est à fil fin est relié d'un côté à l'interrupteur S et de l'autre côté à la résistance K par l'appareil H. Le rôle de ce disjoncteur est de couper le circuit de charge de la batterie quand la vitesse du train devient trop faible ou lorsque la batterie est suffisamment chargée. Lorsqu'aucun courant ne passe dans le solénoïde, le noyau reste dans sa position inférieure et la résistance K du circuit d'éclairage est en court-circuit. Si le solénoïde est traversé par un courant i_2 grâce à l'interrupteur S, le noyau est relevé de sorte que la résistance K est intro-

[1] *L'Eclairage Electrique*, t. XXXII, p. 429, 20 septembre 1902.
L'Eclairage Electrique, t. XXXVI, p. 210, 8 août 1903.

Digitized by Google

duite dans le circuit des lampes pendant que le circuit de charge de la batterie est fermé, l'intensité de charge étant i, et que le courant d'excitation i_3 passe également.

L'appareil automatique H qui est un limiteur de charge a pour mission de fermer ou d'ouvrir le circuit de charge de la batterie selon la tension de celle-ci ; il commande le disjoncteur E. Il est composé d'un socle sur lequel est fixé un

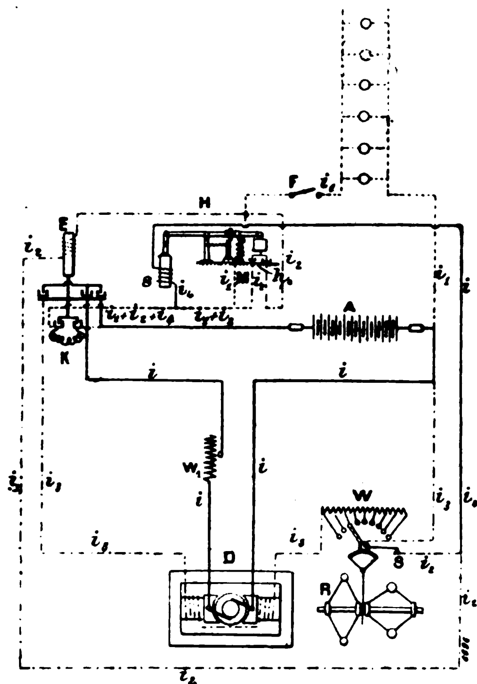


Fig. 1

support perpendiculaire. Ce dernier porte un levier à bras inégaux. Le bras de gauche, plus court, est relié au noyau d'un solénoïde s. Le bras de droite, plus long, porte un contrepoids muni à sa partie inférieure de deux tiges de contact qui peuvent venir plonger dans deux godets de mercure. Entre le conjoncteur h_0 ainsi formé et le support vertical est en outre fixé sur le socle un dispositif d'arrêt avec ressort et électro-aimant M. Le courant i_4 qui traverse l'enroulement du solénoïde est proportionnel à la tension de la batterie. L'électro-aimant M a son circuit commandé par l'interrupteur F du circuit d'éclairage i_1. Le conjoncteur h_0 est placé dans le circuit i_2 du disjoncteur E.

La résistance Wi permet l'ajustage des dynamos qui, quoique de même type, peuvent présenter de petites variations de tension.

Le fonctionnement général est le suivant : le régulateur centrifuge R est réglé de telle façon que l'interrupteur S reste ouvert tant que la vitesse du train n'a pas atteint 28 km à l'heure, environ, ce qui correspond à 650 tours par minute pour la dynamo. A ce moment, un courant i_2 passe dans le disjoncteur E de sorte que le circuit i_3 d'excitation et le circuit principal de charge i de la batterie sont fermés. La batterie charge donc. La vitesse du train augmentant, la tension de la dynamo reste constante jusqu'à 100 km à l'heure grâce au régulateur centrifuge R qui introduit des résistances de plus en plus grandes dans le circuit d'excitation.

Lorsque la batterie est complètement chargée, sa tension a atteint sa valeur maxima ; le courant i_4 qui passe dans le solénoïde s possède ainsi une intensité suffisamment élevée pour attirer son noyau. Il en résulte que le conjoncteur h_0 s'ouvre et que le circuit i_2 est interrompu. Le noyau de fer de l'interrupteur E retombe et la charge de la batterie cesse. On évite ainsi les surcharges de celle-ci. En même temps, la résistance K qui est court-circuitée laisse aux lampes leur tension normale.

Le dispositif d'arrêt est en somme un verrouillage électrique qui maintient h_0 ouvert et par suite empêche la charge de la batterie tant qu'aucun courant ne passe dans l'électro M, c'est-à-dire tant que le circuit d'éclairage n'est pas fermé.

Quand les lampes sont allumées, la dynamo et la batterie travaillent en parallèle, mais la batterie charge.

Quand la vitesse du train descend au-dessous de 28 km à l'heure, l'interrupteur S est ouvert à nouveau, le circuit de charge est coupé et la batterie alimente seule les lampes.

Ce dispositif est construit par la Société Brown, Boveri et Co de Baden (Suisse).

L. Jumau.

ÉLECTROCHIMIE

Sur la production de l'acide nitrique par décharges électriques, par **J. de Kowalski**. *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 2e série, t. III, p. 314-322, juin 1903.

La question de la production industrielle de l'acide azotique et des azotates au moyen de

Digitized by Google

l'azote atmosphérique, soulevée en 1897 par lord Rayleigh, puis l'année suivante par Crookes [1], a donné lieu récemment à plusieurs travaux tant d'ordre scientifique [2] que d'ordre technique [3] et à une application industrielle à Niagara [4].

M. de Kowalski lui-même étudie la question dès 1898 et l'année suivante il en exposait les résultats à la Société helvétique des sciences naturelles à Neuchâtel. Depuis, il a eu la possibilité de reprendre les expériences à plus grande échelle, en commun avec M. Moscicki, et ce sont les résultats de ces dernières recherches qu'il expose dans ce mémoire [5].

Des expériences de laboratoire ayant montré à l'auteur que le rendement en composés nitreux dépend de diverses conditions [1], M. de Kowalski et Moscicki ont d'abord cherché quelle relation devait exister entre l'intensité du courant produisant l'arc, la différence du potentiel aux électrodes, entre lesquelles il jaillit et la fréquence du courant, pour obtenir le maximum de rendement.

Avec un courant d'environ 0,05 ampère, une différence de potentiel de 50 000 volts et une fréquence de courant entre 6 000 et 10 000 périodes par seconde, ils ont obtenu un maximum de vapeurs nitreuses pour l'énergie employée. Ils arrivent à produire dans l'air ordinaire, et non dans un mélange enrichi d'oxygène, 52 gr

---

(1) *Écl. Élect.*, t. XVII. p. 59, 8 octobre 1898 et t. XVIII, p. LII, 4 février 1899.

(2) Muthmann et H. Hofer. *Berichte d. deutsch. chem. Ges.*, t. II, p. 438, 1903.

(3) Mac Dougall et Howles. *Manchester lit. and phil. Society*, t. XLIV, 1900. — Bradley et Lovejoy, brevet américain 709 687, brevet français 310 514 du 3 mai 1901, *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. CLV. 6 déc. 1902 — de Lepel *Wied. Ann.* t. XLVI, p. 319 — E. Rasch. *Dinglerpolytech. Journal*, t. CCCXVIII, 1903; *Écl. Elect.*, t. XXXVI, p. 73, 11 juillet 1903. — Haber. *Zeitschrift fur Electrochemie*, 1904, p. 382.

(4) *Écl. Éleet.*, t. XXXII, p. LXXXVI, 16 août 1902, t. XXXIII, p. CLIV, 6 décemb. 1902.

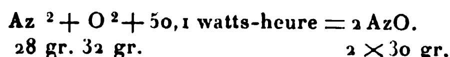
(5) Voici en quoi consiste le problème:

Lorsqu'on fait traverser l'air atmosphérique (20.8 vol. d'oxygène et 79,2 vol. d'azote) par des décharges électriques, la molécule Az^2 et la molécule O^2 sont ionisées et s'unissent ensuite en formant des oxydes d'azote. Seul, le bioxyde d'azote, parmi les oxydes composant les vapeurs nitreuses, se forme d'après une réaction endothermique. On peut la représenter par l'équation



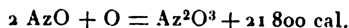
$$Az^2 + O^2 + 2 \times 21\,600 \text{ cal.} = 2\,AzO.$$

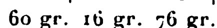
ou



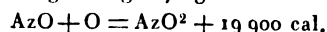
$$\underset{28 \text{ gr.}}{Az^2} + \underset{32 \text{ gr.}}{O^2} + 50{,}1 \text{ watts-heure} = \underset{2 \times 30 \text{ gr.}}{2\,AzO.}$$

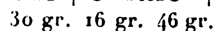
L'anhydride azoteux Az^2O^3, ainsi que le peroxyde d'azote AzO^2, se forment par une oxydation exothermique d'après les équations





$$\underset{60 \text{ gr.}}{2\,AzO} + \underset{16 \text{ gr.}}{O} = \underset{76 \text{ gr.}}{Az^2O^3} + 21\,800 \text{ cal.}$$





$$\underset{30 \text{ gr.}}{AzO} + \underset{16 \text{ gr.}}{O} = \underset{46 \text{ gr.}}{AzO^2} + 19\,900 \text{ cal.}$$

Ces vapeurs nitreuses peuvent être, une fois obtenues, assujetties, par un procédé purement chimique, par exemple celui de Valentiner, à une oxydation et hydratation qui les transforme en acide nitrique.

Le travail électrique, qui est dépensé pour la formation des vapeurs nitreuses, comprendra donc le travail produisant la chaleur nécessaire pour la production du bioxyde d'azote et le travail perdu en chaleur de Joule dans la décharge électrique. Muhtmann et Hofer ont cherché à déterminer par leurs expériences la valeur théorique du travail total nécessaire pour cette production. Sans entrer dans une critique détaillée de leur manière de calculer ce travail, M. de Kowalski trouve que le phénomène de l'arc entre électrodes métalliques, qu'ils emploient, est beaucoup plus complexe que ne le croient ces savants; aussi leurs calculs ne peuvent-ils être considérés que comme plus ou moins approximatifs.

(1) Déjà, en 1899, M. de Kowalski avait remarqué que le rendement de vapeurs nitreuses produites dans l'air par des décharges électriques augmente beaucoup avec la fréquence du courant alternatif employé pour produire ces décharges. Cette influence de la fréquence sur la quantité des vapeurs nitreuses produites par les décharges, peut être expliquée de différentes manières ; soit que les chocs fréquents facilitent l'ionisation des molécules des gaz, soit que l'arc qui se produit pendant la décharge entre deux électrodes, ayant à de hautes fréquences une résistance moindre qu'à des fréquences basses, la perte en chaleur de Joule soit aussi plus petite. Le fait n'est pas douteux, comme le démontre une comparaison avec l'expérience de MM. Mac Dougall et Howles. Ces savants trouvent, en produisant un arc entre deux électrodes métalliques avec un courant à 0,2 ampère, une production de 33,6 gr d'acide nitrique par kilowatt-heure, tandis que MM. de Kowalski et Moscicki, en travaillant avec une fréquence entre 5 000 et 6 000 périodes par seconde, ont obtenu 43,5 gr par kilowatt-heure avec un arc de même intensité. D'autre part, MM. de Kowalski et Moscicki ont trouvé par de nombreuses expériences que, d'accord avec ce que publient aussi MM. Mac Dougall et Howles, si l'intensité du courant dans l'arc diminue, la quantité relative de vapeurs nitreuses augmente. Pourtant, il faut quand même maintenir une intensité suffisante pour produire une décharge formant l'arc. La longueur de l'arc n'est pas non plus sans influence sur le rendement.

Digitized by Google

à 55 gr d'acide nitrique par kilowatt-heure ; cette quantité peut d'ailleurs être presque doublée, comme le démontrent les expériences de MM. Mac Dougall et Howles, en ajoutant environ 50 p. 100 d'oxygène. Si l'on en ajoute seulement 5 p. 100, l'augmentation est déjà d'environ 20 p. 100.

Pour passer des essais de laboratoire à la pratique, il fallait trouver une solution économique permettant de : 1° pouvoir travailler avec des unités électriques de grande puissance ; 2° pouvoir utiliser autant que possible le matériel électrique déjà connu et employé couramment ; 3° trouver un matériel exempt de détérioration et d'éviter, autant que possible, des parties qui s'usent facilement.

Après une série d'expériences, MM. de Kowalski et Moscicki se sont arrêtés à la disposition suivante :

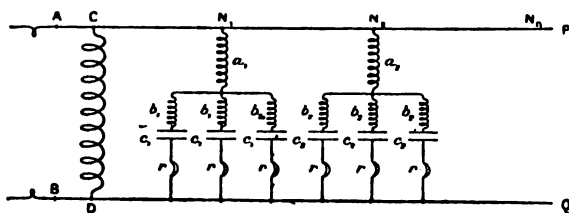


Fig. 1.

« Soient A et B (fig. 1) les bornes du secondaire d'un transformateur à haute tension, ou alimenté par une génératrice de courant alternatif à fréquence ordinaire. AP et BQ sont deux conducteurs parallèles. Les conducteurs sont réunis par des groupes N_1, N_2, N_3 qui sont formés chacun d'une bobine de self-induction *a* en série avec trois bobines de self-induetion *b* parallèles entre elles, et dont chacune est de son côté en série avec un condensateur *c* et l'arc *r*.

» Les deux fils AP et BQ sont, en outre, reliés entre eux par une grande bobine de self-induction CD, dont la destination sera expliquée plus loin.

» Considérons d'abord le phénomène de la charge d'un seul des condensateurs *c*. Les self-inductions *b* sont calculées de façon que, déjà au moment de la charge, celle-ci soit oscillante. La période de l'oscillation est connue. On la sait facile à calculer d'après la formule de Lord Kelvin

$$T = 2\pi \sqrt{LC}.$$

» La différence du potentiel aux bornes, *v*, étant arrivée à une valeur extrême, l'arc se produit et les condensateurs se déchargent.

» L'intensité du courant dans l'arc ne peut dépasssr une certaine valeur qui dépend de la capacité du condensateur.

» Ayant plusieurs condensateurs et self-inductions en parallèle, le phénomène se complique. Les condensateurs agissent mutuellement l'un sur l'autre, et les décharges oscillantes réagissent de leur côté sur le transformateur principal. Pour empêcher cette réaction, on intercale, pour chaque groupe de trois self-inductions *b* et trois condensateurs *c* en parallèle, une bobine *a* en série avec celle-ci. La self-induction de cette bobine est calculée de façon à ce que sa résistance, très grande vis-à-vis des courants de haute fréquence qui se produisent à la charge et à la décharge des condensateurs, soit relativement petite pour le courant à fréquence ordinaire arrivant du transformateur principal. Tout ce système produit un décalage en avant. Pour le compenser, on met une bobine de self-induction CD reliant les deux bornes du transformateur.

» Ces dispositions permettent de régler, d'une manière très exacte, aussi bien la fréquence de l'arc que l'énergie employée dans chaque arc. C'est donc un système de distribution répondant aux conditions posées pour la production la plus économique des vapeurs nitreuses.

» Passons maintenant aux détails d'exécution. Au milieu d'une tour en grès, d'environ 1,50 m de diamètre, nous disposons, sur un axe bien isolé en aluminium, des électrodes radiales également en aluminium. La tour de grès est munie d'ouvertures (vis-à-vis de chaque électrode) dans lesquelles on dispose d'autres électrodes bien isolées à la porcelaine et aboutissant chacune à une distance d'environ 20 cm de l'électrode correspondant à l'intérieur. Les électrodes extérieures sont, une à une, reliées à une des armatures des condensateurs disposés sur des supports isolants autour de la tour en grès. L'autre armature est reliée à la bobine de self-induction correspondante, laquelle, de son côté, est reliée avec deux autres groupes semblables en parallèle et, par l'entremise d'une seule bobine pour les trois bobines, au conducteur venant du transformateur.

» Nous travaillons avec une tension de

Digitized by Google

50 000 volts aux bornes du transformateur principal. On construit maintenant facilement des transformateurs isolés à l'huile, pour cette tension, avec un excellent rendement.

» Le transformateur de 25 kilowatts, construit par Brown et Boveri pour notre usine d'essai, possède un rendement garanti en pleine charge de 97 p. 100.

» Il me reste à ajouter quelques mots sur l'appareillage spécial employé dans le procédé. Un des appareils les plus importants de notre disposition est le condensateur. Nous avons essayé les condensateurs de différentes usines, mais la plupart d'entre eux ne pouvaient pas supporter l'emploi prolongé de tensions très élevées. En outre, tous présentaient l'inconvénient d'être très chers. C'est aux recherches de M. Moscicki que nous devons l'invention d'un condensateur d'une construction facile, qui supporte très bien les très hautes tensions. Pour ces condensateurs, nous employons, comme diélectrique, du verre en tubes minces argentés des deux côtés. Les mesures très exactes effectuées par M. Moscicki démontrent que la perte d'énergie, qui se produit dans ces condensateurs, ne dépasse pas 1 p. 100.

» D'autre part, ils ont l'avantage d'être peu coûteux ; le prix d'un condensateur par kilovolt-ampère n'est que de 15 fr environ.

» Les petites bobines de self-induction pour la haute fréquence doivent être construites aussi d'une manière très minutieuse, vu l'excellent isolement des couches consécutives qu'exige la haute tension. La Compagnie de l'Industrie électrique de Genève a réussi à les construire à notre pleine satisfaction.

» La construction de la grande bobine de self-induction ne présente aucune difficulté ; ce n'est, en principe, que la construction d'un transformateur à un seul bobinage [1]. »

[1] Dans la discussion qui a suivi cette communication, M. Claude fait observer que son procédé d'extraction de l'oxygène de l'air atmosphérique permet d'obtenir cet oxygène à un prix tel que son emploi donnerait lieu à une économie considérable dans l'application du procédé de Kowalski et Moscicki.

« Avec l'air ordinaire, dit-il, on dépense 15 kilowatts-heure par kilogramme d'AzO^3H.

» Avec l'air à 60 p. 100, il ne faut que 7,5 kilowatts-heure, soit un gain de 7,5 kilowatts-heure. Mais il faut, en outre, préparer l'oxygène. Je suppose que celui-ci soit ajouté à l'air à électriser sous forme d'oxygène pur. En tenant compte de l'oxygène de l'air employé, on trouve que chaque kilogramme d'AzO^3H nécessite moins de un demi-mètre cube d'oxygène, donc moins de *un-demi-kilowatt-heure*.

» Ainsi, le gain de 7,5 kilowatts-heure sur l'énergie électrique sera acquis moyennant une dépense de un demi-kilowatt-heure pour la préparation de l'oxygène : on peut donc estimer que l'oxygène sera pour ainsi dire ***gratuit***, et que, grâce à cette première collaboration de l'air liquide et de l'électricité, la consommation d'énergie pour la fabrication de l'acide azotique se réduira, dans un avenir très proche, à la moitié de sa valeur. »

Sur la peroxydation électrolytique du plomb métallique, par le **Dr Alfred Rokotnitz**. *Centralblatt f. Accumulatoren. Elementen-und. Accumobilenkunde*, t. IV, p. 213, 227, 237, 251, 261 ; 15 septembre, 1er octobre, 15 octobre, 1er novembre, 15 novembre 1903.

L'auteur a entrepris des essais en vue de déterminer d'une part la quantité de peroxyde formé sur les plaques de plomb soumises à l'électrolyse, et d'autre part la quantité d'oxygène dégagé pendant l'électrolyse. Les essais étaient effectués sur un élément à 3 plaques (une positive et deux négatives) de $10 \times 14 = 140$ cm². La surface active était donc de 2,8 dm². Les plaques étaient en plomb doux laminé. L'élément était fermé hermétiquement et un tube capillaire laissait sortir les gaz de l'électrolyse pour leur analyse.

I. En employant de l'acide sulfurique de concentration 2,4 p. 100 en poids, on obtenait après 26 heures d'électrolyse à une intensité moyenne de 0,92 ampère, soit 23,92 ampères-heure, une couche unie et solide de 0,1508 gr de peroxyde de plomb sur la positive. On déduit de cette quantité ainsi que du nombre d'ampères-heure fournis que sur 100 cm³ d'oxygène, il n'y en a eu que 0,29 534 d'utilisés pour la peroxydation du plomb.

Dans un autre essai, la densité de l'acide sulfurique était de 1,3. On chargeait 48 heures en donnant 28,674 ampères-heure. La quantité de peroxyde formé était de 0,1822 gr et l'oxygène utilisé représentait 0,2848 p. 100.

II. L'auteur a ensuite essayé la formation au chlorate : il a employé comme électrolyte : pour 1 litre d'eau, 70 gr d'acide sulfurique à 50 p. 100, 50 gr de sulfate d'ammonium et 3,5 gr de chlorate de potassium. Après 48 heures de charge à 0,67 ampère en moyenne (exactement 32,77 ampères-heure), la couche de peroxyde n'était pas régulière ; elle présentait des grains

Digitized by Google

et des excroissances. Une petite partie s'était détachée en feuillets. L'électrolyte sentait encore un peu le chlore. De la quantité de peroxyde formé, 34,721 gr, et du nombre d'ampères-heure, on déduisait une utilisation de 47,4877 p. 100 de l'oxygène.

Dans une autre expérience, avec le même électrolyte, on obtenait, après 48 heures de charge et 33,278 ampères-heures, une quantité de peroxyde de 35,891 gr, correspondant à une utilisation de 48,34 p. 100 de l'oxygène.

III. La formation au perchlorate a été étudiée ici en employant un électrolyte composé, pour 1 litre d'eau, de 70 gr d'acide sulfurique à 50 p. 100, 3,5 gr de perchlorate de potassium et 50 gr de sulfate d'ammoniaque. Après 48 heures de charge à une intensité moyenne de 0,67 ampère, soit exactement 32,77 ampères-heure, la couche de peroxyde formé était assez épaisse et la lame de plomb était très attaquée en certains points. Le poids 28,531 gr de peroxyde formé correspondait à une utilisation de 39,022 p. 100 de l'oxygène.

IV. Avec une solution de plus faible concentration et renfermant 1 333 cm³ d'eau, 19,9 gr de sulfate d'ammoniaque, 0,1 gr de chlorate de potassium, et 2 cm³ d'acide sulfurique à 50 p. 100, après 48 heures d'électrolyse à 0,77 ampère, soit 37,415 ampères-heure, la quantité de peroxyde produit était de 26,796 gr. Ce peroxyde, de forme pulvérulente était très adhérent. L'utilisation de l'oxygène correspondait à 32,09 p. 100.

V. En diminuant également la concentration de l'électrolyte dans la formation au perchlorate et en constituant celui-ci à l'aide de 1333 cm³ d'eau, 19,9 gr de sulfate d'ammoniaque, 0,1 gr de perchlorate de potassium et 2 cm³ d'acide sulfurique à 50 p. 100, on obtenait 2,922 gr de peroxyde après électrolyse de 48 heures à une intensité moyenne de 0,77 ampère, soit 37,415 ampères-heures. Le peroxyde était adhérent, mais la plaque était fortement rongée par endroits. L'utilisation de l'oxygène était égale à 3,5 p. 100.

VI. Dans un sixième essai, l'électrolyte était le même que dans l'essai IV; mais sans addition d'acide. La composition était donc : 1333 cm³ d'eau, 19,9 gr de sulfate d'ammoniaque et 0,1 gr de chlorate de potassium. Après 48 heures à une intensité moyenne de 0,69 ampère, soit 33,278 ampères-heure, la quantité totale de peroxyde formé était de 12,904 gr, correspondant à une utilisation de 17,38 p. 100 de l'oxygène. La couche de peroxyde affectait une forme granuleuse. Comme on le voit, la quantité de peroxyde est un peu moindre que la moitié de celle obtenue avec le même électrolyte acide.

VII. Afin de réaliser les conditions indiquées par C. Luckow [1], l'auteur constitue un électrolyte composé pour un litre d'eau, de 46,7 gr de sulfate de potassium et de 30 gr de chlorate de potassium. Pendant 48 heures l'intensité moyenne était égale à 0,58 ampère, et la quantité d'électricité s'élevait exactement à 28,218 ampères-heure. La quantité totale de peroxyde formé était de 50,446 gr. La couche de matière active tenait assez solidement; mais le plomb était profondément attaqué sur une partie de la surface. L'utilisation de l'oxygène correspondait à 80,09 p. 100.

VIII. Dans cet essai, on employait comme électrolyte une solution renfermant par litre, 50 gr de sulfate d'ammoniaque et 100 gr d'ammoniaque à 10 p. 100. On n'obtenait qu'une quantité excessivement faible, 0,6453 gr de peroxyde, après passage de 28,218 ampères-heure en 48 heures. L'utilisation de l'oxygène en peroxyde était seulement de 0,10244 p. 100. Par contre l'analyse des gaz indiquait une proportion de 92,2 p. 100 d'oxygène disparu.

IX. Une solution de 1333 cm³ d'ammoniaque à 1 p. 100 était additionnée de 19,9 gr de sulfate d'ammoniaque et de 0,1 gr de chlorate de potassium. Après 48 heures de charge à une intensité moyenne de 0,65 ampère, soit exactement 31,664 ampères-heure, la quantité de peroxyde formé, quoique plus grande que dans le cas précédent, était encore faible et atteignait seulement 3,472 gr. La lame de plomb était un peu attaquée en quelques places.

L'utilisation de l'oxygène en peroxyde était égale à 4,914 p. 100. En revanche, l'analyse des gaz montrait que 93 p. 100 de l'oxygène était disparu.

X. L'essai II a donné, comme on l'a vu, de bons résultats. Ici on reprend ce même électrolyte en remplaçant l'acide sulfurique par de l'ammoniaque. Pour un litre d'ammoniaque à

(1) Brevet allemand 99 121 du 13 mai 1897, addition au brevet allemand 91 707.

1 p. 100, on prend 50 gramme de sulfate d'ammoniaque et 3,5 gramme de chlorate de potassium. L'intensité moyenne de charge était de 0,65 ampère. Après 48 heures, la quantité d'électricité atteignait 31,664 ampères-heure, et la quantité de peroxyde formé, 4,614 gramme. La couche de matière était adhérente et le plomb régulièrement attaqué.

Une proportion de 6,53 p. 100 de l'oxygène était utilisée à la peroxydation, tandis que d'après l'analyse des gaz, la proportion d'oxygène disparu atteignait 91,2 p. 100.

XI. Au lieu d'ammoniaque à 1 p. 100, on prenait de l'ammoniaque à 0,5 p. 100 et on additionnait, p. 1 000 cm^3 de la solution, de 12,5 gr de sulfate d'hydroxylamine $(AzH^2OH)^2 SO^4$, 50 gr de sulfate d'ammoniaque et 0,5 p. 100 de AzH^4OH. La charge durait 48 heures à l'intensité moyenne de 0,58 ampère, soit 28,286 ampères-heure. Comme quantité totale de peroxyde on trouvait 1,735 gr correspondant à une utilisation de 0,2749 p. 100 de l'oxygène, alors que d'après l'analyse des gaz la proportion aurait dû s'élever à 85,5 p. 100.

XII. Pour 1 000 cm^3 d'eau, la solution renfermait ici 50 gr de sulfate d'ammoniaque et 25 gr de sulfate d'hydroxylamine. Pour 28,286 ampères-heure (48 heures à 0,59 ampère en moyenne) il y avait production de 8,321 gr de peroxyde correspondant à une utilisation de 13,18 p. 100 de l'oxygène, au lieu de 89,7 p. 100 d'après l'analyse des gaz. Le rendement était ainsi plus élevé que dans les deux derniers essais.

XIII. La solution renfermait, pour 1 000 cm^3 d'acide sulfurique de densité 1,3, 50 gr de persulfate d'ammonium. La charge, à une intensité moyenne de 0,59 ampère, durait 48 heures. La quantité de peroxyde formé après passage de 28,674 ampères-heure n'était que de 0,2279 gr, soit une utilisation de 0,3562 p. 100 de l'oxygène, chiffre concordant avec celui (0,398 p. 100) indiqué par l'analyse des gaz. L'addition de persulfate d'ammoniaque n'active donc pas sensiblement la formation.

XIV et XV. Deux éléments étaient remplis de solutions semblables à celles de l'essai VIII. L'un des deux éléments (XIV) était arrêté après 18 heures de charge, et l'autre (XV) après 24 heures. La charge était ensuite continuée après lavage des éléments et remplacement de leur liquide par de l'acide sulfurique de densité 1,3.

On constatait que la quantité de peroxyde formé était sensiblement plus grande que dans l'essai I dans lequel la charge était entièrement effectuée dans l'acide de densité 1,3. On trouvait en outre une quantité de peroxyde plus grande dans l'élément fonctionnant 24 heures dans la solution ammoniacale que dans l'élément arrêté après 15 heures; l'utilisation de l'oxygène était également supérieure dans ce premier élément.

La quantité de peroxyde formé après 48 heures de charge, soit 26,506 ampères-heure, était de 1,3302 gr pour l'élément XIV. Si on considère qu'après 28,218 ampères-heure, il s'était formé 0,6453 gr de peroxyde dans le liquide ammoniacal, on en déduit qu'après 15,87 ampères-heure, cette quantité a dû être égale à 0,3628 gr. Il en résulte pour le poids du peroxyde formé après l'interruption, la valeur 1,3302 — 0,3628 = 0,9674 gr. De cette quantité et du nombre d'ampères-heure on déduit une utilisation de 2,34 p. 100 de l'oxygène. L'analyse des gaz indique une valeur très voisine 2,19 p. 100.

Dans l'élément XV, chargé dans l'acide après 24 heures de fonctionnement dans le liquide ammoniacal, la quantité de peroxyde s'élevait à 1,6937 gr après charge de 21,275 ampères-heure en 48 heures. De l'essai VIII, on déduit une formation de 0,4841 gr de peroxyde avant l'interruption. On en conclut que pendant la deuxième partie, il s'est formé 1,6937 — 0,4841 = 1,2096 gr de peroxyde correspondant à une utilisation de 3,67 p. 100 de l'oxygène, au lieu de 3,45 p. 100 d'après l'analyse des gaz.

XVI. Afin de réaliser comme l'a indiqué Pollak une oxydation simple du plomb, puis une transformation de l'oxyde en peroxyde, on plaçait l'élément à former aux bornes d'un accumulateur de façon à ne pas dépasser 2 volts comme tension de charge. L'électrolyte était une solution d'acide sulfurique de densité 1,3. On chargeait d'abord 24 heures sous une tension de 2 volts; l'intensité moyenne était de 0,6 ampère. La plaque positive devenait blanc grisâtre pendant cette première partie. L'analyse des gaz indiquait une plus grande consommation d'oxygène que pendant la peroxydation dans les mêmes conditions (essai I). On peut en

Digitized by Google

conclure que dans le même temps il s'est formé plus d'oxyde qu'il ne s'était formé de peroxyde dans l'essai I.

Après 24 heures, on chargeait en élevant la tension jusque 2,6 à 2,8 volts. L'analyse des gaz montrait au début une consommation d'oxygène plus grande que celle nécessitée par la formation du peroxyde (d'après l'essai I), ce qui prouve que l'oxyde de plomb se transforme facilement en peroxyde, et qu'en outre du plomb métallique se peroxyde. La consommation d'oxygène s'abaissait ensuite lorsque tout l'oxyde était transformé.

De la quantité totale de peroxyde formé, 0,3165 gr pour une quantité d'électricité de 29,29 ampères-heure (après 48 heures de charge totale), on déduit une utilisation de 0,4843 p. 100 de l'oxygène, alors que l'analyse des gaz donnait une moyenne de 0,370 p. 100.

XVII. Cet essai différait de l'essai II en ce que l'électrolyte était maintenu à la température de 60° C. pendant la durée de la charge. L'électrolyte renfermait pour un litre d'eau, 70 gr d'acide sulfurique à 50 p. 100, 3,5 gr de chlorate de potassium et 50 gr de sulfate d'ammonium. On électrolysait pendant 12 heures à 0,68 ampère en moyenne.

Pour le même temps, la quantité de peroxyde formé était plus grande qu'à la température ordinaire. Du poids de peroxyde formé, 9,521 gr et de la quantité d'électricité 8,233 ampères-heure, on déduisait une utilisation de 51,83 p. 100 d'oxygène pour la peroxydation, valeur sensiblement égale à celle, 51,424 p. 100 trouvée en moyenne d'après l'analyse des gaz.

XVIII. Les conditions étaient les mêmes que dans l'essai précédent; mais la température était maintenue à 0°C. Après passage de 8,233 ampères-heure en 12 heures, il y avait production de 5,084 gr de peroxyde de plomb. L'utilisation de l'oxygène atteignait ainsi 27,676 p. 100; d'après l'analyse des gaz, on trouvait 28,01 p. 100. On en conclut que le rendement en peroxyde est moindre ici qu'en employant une température plus élevée.

XIX. Cet essai se faisait dans les mêmes conditions que les deux précédents, mais on avait disposé l'élément de façon à obtenir une circulation de l'électrolyte à la température ordinaire. Les résultats étaient meilleurs que dans les deux précédents essais. C'est ainsi qu'on obtenait 11,685 gr de peroxyde après passage de 8,233 ampères-heure en 12 heures. De ces valeurs, on déduisait pour l'utilisation de l'oxygène 63,61 p. 100 alors que l'analyse des gaz indiquait 63,32 p. 100.

XX. L'auteur a pris ici comme oxydant les combinaisons oxygénées du chrome. L'électrolyte renfermait, p. 1 000 cm^3 d'acide sulfurique de densité 1,3, 20 gr de bichromate de potassium. Après passage de 37,562 ampères-heure en 48 heures, il ne s'était formé que 0,4621 gr de peroxyde. D'après l'analyse des gaz, on trouvait un excès d'oxygène dû à la décomposition du bichromate de potassium.

XXI. On utilisait pour cet essai, une solution de 10 gr de carbonate de sodium dans 1 litre d'eau. Après 48 heures d'électrolyse à une intensité moyenne de 0,76 ampère, soit 37,131 ampères-heure, il s'était formé 10,209 gr de peroxyde de plomb adhérent, correspondant à une utilisation de 12,31 p. 100 de l'oxygène (l'analyse des gaz indiquait 13,17 p. 100). En même temps, il se déposait du plomb spongieux sur les négatives.

XXII. L'élément renfermait comme électrolyte une solution de 10 gr de soude caustique pour 1 litre d'eau. On chargeait 48 heures à 0,76 ampère en moyenne, soit 37,131 ampères-heure. Il se formait une couche adhérente de peroxyde de plomb à la positive et un peu de plomb spongieux se déposait sur les négatives. Après dissolution du peroxyde on constatait que la lame de plomb était peu attaquée. La quantité totale de peroxyde 15,675 gr correspondait à une utilisation de 18,92 p. 100 de l'oxygène (l'analyse des gaz indiquait 19,75 p. 100).

XXIII. Afin de rechercher l'influence de l'acide acétique, on ajoutait à un litre d'eau 6 cm^3 d'acide sulfurique concentré et 4 cm^3 d'acide acétique à 90 p. 100. La lame de plomb positive s'attaquait fortement et la quantité totale de peroxyde formé était de 30,959 gr après charge de 30,846 ampères-heure (48 heures à 0,65 ampère en moyenne). On en déduisait une utilisation de 43,96 p. 100 de l'oxygène, alors que l'analyse indique 44,22 p. 100.

XXIV. On constituait ici l'électrolyte à l'aide d'une solution renfermant pour 1 litre d'eau, 2 cm^3 d'acide sulfurique concentré et 2 cm^3 d'acide nitrique de densité 1,18. La charge ayant lieu à 0,65 ampère, l'électrolyte devenait

Digitized by Google

trouble, la plaque positive se recouvrait d'une couche blanche, et la formation du peroxyde restait très faible. En même temps il se déposait du plomb spongieux sur les négatives.

Par l'emploi d'une solution renfermant pour 1 litre d'eau, 12 cm^3 d'acide sulfurique concentré et 10 cm^3 d'acide nitrique de densité 1,18, il se produisait moins de plomb spongieux sur les négatives. Après 48 heures de charge à une intensité moyenne de 0,63 ampère (exactement 30,846 ampères-heure), la lame positive était fortement attaquée; le peroxyde était produit assez irrégulièrement sur la surface et n'était pas très adhérent. De la qualité totale, 33,743 gr de peroxyde formé, on déduisait une utilisation de 49,03 p. 100 de l'oxygène (l'analyse des gaz indiquait 47,88 p. 100).

On constate donc que dans la plupart des cas, la consommation en oxygène (déterminée par l'analyse des gaz) permet de se rendre compte du rendement en peroxyde.

L. J.

MESURES

Dispositif Kolben pour l'analyse des courants périodiques. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 133, 1er avril 1903.

Le dispositif de l'Elektrizitäts Aktiengesellschaft anciennement Kolben et Cie repose sur le principe bien connu de Joubert. Le courant à analyser traverse l'enroulement primaire T, d'un petit transformateur T et produit dans le noyau de fer F de celui-ci un flux alternatif de lignes de force magnétique. Le circuit magnétique du transformateur n'est pas fermé comme cela a lieu habituellement, mais un côté reste ouvert. Le circuit secondaire S_2 du transformateur est relié au voltmètre alternatif M (fig. 1). On place devant l'interruption du circuit magnétique un tambour non magnétique R qui tourne synchroniquement avec le courant alternatif en expérience, ce tambour est muni d'une pièce de fer A destinée à fermer une fois à chaque rotation le circuit magnétique du transformateur.

Cette amélioration instantanée des conditions magnétiques produit lorsque le primaire S_1 est excité, une impulsion inductive qui se traduit par une tension d'induction mesurable au voltmètre M, proportionnelle à la valeur instantanée du courant alternatif d'excitation. La grandeur de celle-ci peut donc être mesurée par la déviation de l'aiguille du voltmètre. En déplaçant le transformateur T à la surface du tambour R on obtient les valeurs de la tension aux différents instants de la période, ce qui permet de construire par points la courbe de tension.

On peut disposer l'enroulement secondaire S_2 sur le tambour R, ce qui diminue l'induction pendant le temps où la pièce A ne ferme pas le

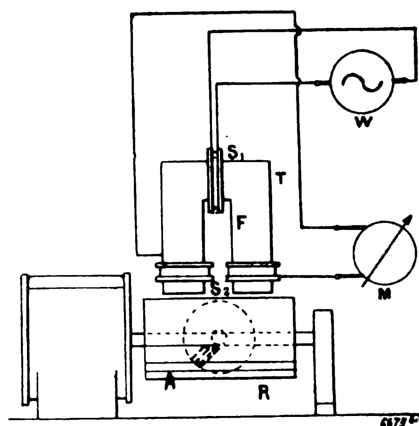


Fig. 1.

circuit magnétique du transformateur. Il faut observer que dans tous les cas, l'entrefer n'offrant pas une résistance infini, l'aiguille du voltmètre dévie même si la pièce A n'est pas en face du transformateur; il faut tenir compte de la correction correspondante; on peut évidemment en diminuer l'importance par l'emploi d'écrans convenables en feuille de cuivre.

On peut éviter la rotation du transformateur en faisant tourner le tambour à une vitesse qui ne soit pas exactement synchrone avec le courant.

G. G.

Le Gérant : CH. COINTE.

Digitized by Google

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES [1]

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

L'hypothèse des électrons et la corrélation des forces physiques : I. L'électron considéré comme phénomène. II. Théorie électronique des radiations et de la gravitation. — *Thomas Tommasina* 281, 379
Les théories modernes de la matière xiv

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques

Changement de résistance électrique du sélénium sous l'influence de certaines substances. — *A.-B. Griffiths* 393
Causes et effets de la variabilité des éléments d'un circuit électrique. — *A. Della Riccia* . . 27
Discussion sur quelques points de la théorie des courants alternatifs. — *W.-S. Franklin* . 318
Sur les phénomènes présentés à l'égard du courant alternatif par les électrodes dites impolarisables (*p*). — *E. Warburg* et *B. Strasser*. v
Sur l'électrolyse avec courants alternatifs, d'après les recherches de Karl Schick. — *Le Blanc*. 110
Conductivité des solutions de sodium dans les mélanges d'alcool éthylique ou méthylique et d'eau (*p*). — *S. Tijmstra Bz*. xciii
Les propriétés théoriques des ions en solution (*p*). — *M.-F. Roeber*. lxvii
Phénomènes présentés par les ions en solution (*p*). — *Lobry de Bruyn* xciii
Déterminations électrolytiques de la basicité des acides (*p*). — *J.-J. Moltkehansen*. . . . lviii
Sur l'hystérésis diélectrique et la méthode d'oscillation de M. W. Schaufelberger. — *F. Beaulard* 404
Cohésion diélectrique des gaz et la température. — *E. Bouty* 471

Décharge électrique.

Contribution à l'étude de la déperdition de l'électricité. — *Ed. Riecke* 64
Déperdition électrique dans l'atmosphère (*p*). — *P. Czermak* viii
Les décharges électriques dans l'air. — *J. de Kowalski*. 403
Les décharges d'étincelles à travers la vapeur d'eau (*p*). — *A. Lidbury* lix
Chute des potentiels dans la conduction d'électricité à travers les gaz (*p*). — *M.-H. Starke* . cxxvi
Chute de potentiel cathodique dans l'hélium (*p*). — *R. Defregger* lxviii
Expériences de mesure et expériences de cours sur les décharges des condensateurs et les courants d'induction (*p*). — *Fr. Wittmann*. v
Décharges statiques dans les circuits électriques (*p*). — *Percy H. Thomas* cv
Décharge des condensateurs dans un circuit bifurqué et propriétés de quelques diélectriques liquides aux fréquences de 10^7 à 10^8. — *E. Marx* 390
Détermination spectroscopique des poids atomiques (*p*). — *C. Runge*. lix
Sur la luminescence des ions. — *Werner von Bolton*. 319

Oscillations hertziennes.

Effet d'écran des gaz vis-à-vis des oscillations électriques. — *E. Lecher* 108
Sur l'amortissement des oscillations électriques de période moyenne. — *J. de Kowalski*. . . 403
Détecteur d'ondes pour mesures quantitatives (*p*). — *J.-A. Fleming*. cxliii

[1] Les titres des matières publiées dans la *Littérature des Périodiques et des Brevets* sont suivis des indications (*p*) ou (*b*); les analyses publiées dans la *Bibliographie* sont indiquées par un (B).

Digitized by Google

Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Simplicité des spectres de la lumière cathodique dans les gaz azotés et carbonés. — *H. Deslandres* . . . 67
Influence de la « fenêtre » de Lenard sur les rayons cathodiques. — *Th. des Coudres*. 191
Rayons cathodiques à faible vitesse ; leur étude à l'aide de la phosphorescence ; émission secondaire de rayons cathodiques. — *P. Lenard* . . . 291
Disparition de la phosphorescence sous l'action de la pression (*p*). — *P. Lenard* et *V. Klatt* VI
Région cathodique obscure. — *G.-C. Schmidt* . . 391
Le problème d'influence mutuelle des rayons cathodiques (*p*). — *F. Neesen* . . . LX
Variation de l'absorption subie par les rayons cathodiques dans une lame mince d'aluminium avec le potentiel de décharge (*p*). — *W. Seitz* . . . CXXXIX
Les rayons de Rœntgen influent-ils sur la conductibilité de l'air (*p*). — *K. Hahn* . . . VI
Expériences sur les rayons X et le radium (*p*) . . XCIV
Le radium (*p*). — *J.-J. Thomson* . . . XCIV
Emission du radium (*p*) . . . LXVIII
Observation remarquable sur le radium (*p*) . . . CXVI
Conductibilité acquise par les isolants solides sous l'action des rayons du radium. — *A. Becker* . . . 145
Sur la phosphorescence scintillante que présentent certaines substances sous l'action des rayons du radium. — *Henri Becquerel* . . 359
Sur les substances radioactives. — *W. Marckwald*. 115
Les corps radio-actifs et la queue des comètes. — *C. Vernon Boys* . . . 153
Végétation dans un sol ionisé. — *A.-B. Plowman* . 37
Emanation radio-active provenant du sol. — *H. Ebert* et *P. Ewers* . . . 310
Effets nouveaux des radiations connues (*p*). — *L. Zehnder* . . . VI
Sur de nouvelles actions produites par les rayons *n* ; généralisation des phénomènes précédemment observés. — *R. Blondlot* . . . 393

Magnétisme.

Progrès récents dans l'étude du magnétisme. — *Ch. Maurain* . . . 5, 41
Relations entre la constitution des fers carburés et leurs propriétés magnétiques. — *Ch. Maurain* . . . 89
Propriétés des aciers au nickel. — *Ch.-Ed. Guillaume* . . . 473
Sur les propriétés et la constitution des aciers au manganèse. — *Léon Guillet* . . . 71
Perméabilité magnétique du fer en poudre dans un champ à oscillations rapides (*p*). — *J. Zenneck* . . . CXXXIX
Influence de la température sur la susceptibilité magnétique des liquides (*p*). — *G. Piaggesi* . . . LX
Variation de température dans le champ magnétique. — *E. Aschkinass* . . . 36
Sur l'aimantation et les variations de longueur des métaux et alliages ferromagnétiques à la température de l'air liquide (*p*). — *K. Honda* et *S. Shimizu* . . . CXXVIII
Etude théorique des relations mutuelles des phénomènes élastiques et des phénomènes magnétiques. — *A. Heydweiller* . . . 311
La susceptibilité magnétique des dissolutions des sels de fer et de manganèse dépend-t-elle de l'intensité du champ ? — *A. Heydweiller*.
Le magnétisme du basalt (*p*) . . . XCIV
Application industrielle des méthodes d'examen des matériaux magnétiques. — *Brunswick* . . 432

Sources d'électricité.

Conditions qui déterminent le signe et la grandeur de l'électrisation par contact. — *Jean Perrin* . . . 147
Electrisation de contact et théorie des solutions colloïdales. — *Jean Perrin* . . . 192
Sur les formes des courants dans les bobines d'induction. — *H. Armagnat* . . . 241
Sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction. — *A. Turpain* . . . 406
Remarques à propos de la communication de M. Turpain sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction. — *A. Blondel* . . . 407
Forme simple de l'interrupteur de Wehnelt. — *L. Zehnder* . . . 145
A propos de l'interrupteur de Wehnelt (*p*). — *L. Dall'Oppio* . . . VII
Nouvel électrolyte pour l'interrupteur Wehnelt (*p*). — *D. Ewigue Hauser* . . . VII

Digitized by Google

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

L'électricité atmosphérique (*p*). — *S.-G. Egoroff*. xcv
La dispersion électrique dans l'air au voisinage du Vésuve (*p*) cIII
Déperdition électrique par les temps couverts. — *A. Gockel*. 34
Contribution à la théorie des paratonnerres. — *A. Schortau* 35
Description d'un orage très localisé. — *Jean Mascart* 70
L'orage magnétique du 31 octobre. LXVI
Sur la loi de distribution régulière de la force totale du magnétisme terrestre en France au 1er janvier 1896. — *E. Mathias*. . . . 408
Théorie des aurores boréales. — *Nordmann* . . 471

Électro et Magnéto-optique.

Sur les variations de résistance électrique des matières autres que le sélénium sous l'influence de la lumière. — *L. Ancel*. . . . 39
Expériences sur le courant photoélectrique dans les ampoules à potassium (*p*). — *E. von Schweidler*. viii
Recherches sur la déperdition provoquée par les rayons ultra-violets sur une plaque métallique négative dans le vide (*p*). — *E. Ladenburg*. LXVIII
Pouvoirs d'émission et d'absorption des métaux pour les grandes longueurs d'ondes (*p*). — *H.-A. Lorentz*. xcv
Vitesse de la lumière dans les cristaux magnétiques (*p*). — *Scalfaro Gennaro*. XLIV

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.

MACHINES MOTRICES. — Projet d'utilisation de la force motrice du Rhin et de sa transmission à Mulhouse. cxxii
Les chutes d'eau dans la distribution de l'électricité (*p*). — *Alton A. Adams*. LXXX
Développement des forces électriques en Suisse. . xxxi
Vitesse de corps flottants sur un cours d'eau (*p*). cxxix
Sur la législation des chutes d'eau. cx
Lignite, tourbe et poussiers de charbons en Allemagne (*p*). LXXVIII
La fumée et la détermination de sa densité (*p*). — *A. Cary*. civ
Appareil autorégulateur Vallet pour le tirage des chaudières à vapeur (*p*). cxxix
Générateur multitubulaire vertical C. Mathian. — *T. Pausert* 217
Rendements des chaudières et foyers. — *A. Bernent* civ
Les réchauffeurs d'eau d'alimentation (*p*). — *W.-W. Christie* XLV
Machine à vapeur Lefèvre à quatre cylindres à double ou à triple expansion 219
Action de la vapeur surchauffée sur les métaux industriels. — *J. Defays*. cxxxiv
Comparaison entre les machines à vapeur et les moteurs électriques pour la commande des machines auxiliaires des stations centrales. — *C.-D. Taite* et *R.-S. Downe*. 436
Différences fondamentales de construction entre les moteurs à gaz et les moteurs à vapeur. . LVII

DYNAMOS. ALTERNATEURS. — Contribution à l'étude expérimentale des dynamos. — *E. Arnold*. 453
Sur la décomposition d'une caractéristique à vide relevée expérimentalement. — *C.-F. Guilbert*. 481
Sur les aciers doux employés dans la construction des machines électriques. — *G. Charpy*. 169
Pièces polaires fendues (*p*). LXXX
Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu. — *E. Hospitalier*. . . . 255
Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu. — *R.-V. Picou*. 256
Détermination des pertes par frottement dans les dynamos à courant continu. — *C. Kinzbrunner*. LXXX
Recherches sur l'amorcement des machines dynamos. — *L. Finzi*. 19
Méthode pour l'essai des grands alternateurs. — *B.-A. Behrend*. 431
Compoundage des alternateurs auto-excitateurs pour charges et facteurs de puissance variables. — *A.-S. Garfield* 439
Discussion des communications de MM. Behrend, Adams et Garfield. 317

Digitized by Google

Sur la marche en parallèle des alternateurs (*p*). — *Gœrges* CXXIX

TRANSFORMATEURS, REDRESSEURS, ETC. — Méthode graphique pour obtenir la valeur de la tension et du courant secondaire dans un transformateur asymétriquement chargé. — *Aug. Köning* 20
Du choix des tensions dans les transformateurs (*p*). *J.-S. Peck*. CIV
Transformation d'un courant pulsant en courant alternatif. — *D.-A. Goldhammer*. 257
Convertisseurs de courants alternatifs (*p*) LXXX
Redresseur de courant à plaque d'aluminium (électrolyse de l'hydroxyde de sodium au moyen des courants alternatifs) (*p*). — *C. Hambuechen* LXVIII
Nouveau redresseur de courant (*p*). — *Robert Grisson*. LX
Système J. Wightman de protection des survolteurs (*p*). CXXX

PILES ET ACCUMULATEURS. — L'élément primaire de H. Csanyi et G. von Barczay. — *Franz Peters* 389
Pile constante à haut voltage, ne travaillant pas à circuit ouvert et pouvant être facilement régénérée après son épuisement (*b*). — *Edmond Commelin*. X
Elément galvanique réversible Thomas. — *A. Edison* 19
Sur les briquettes et cylindres de bioxyde de manganèse. — *Julino Zellner*. 462
Sur l'accumulateur Edison. — *P. Janet* 267
Accumulateur Robert Darling. 461
Perfectionnements dans les accumulateurs (*b*). — *Alexandre Riasse* X
Electrodes pour piles galvaniques réversibles (*b*). — *Herbert Cottrell*. VIII
Electrode d'accumulateur (*b*). — *Société R. Trüb et Cie*. X
Nouvelle plaque d'accumulateur d'électricité (*b*). — *Alfred Tardy*. IX
Procédé pour la fabrication de plaques d'accumulateurs au plomb (*b*). — *General Storage et Battery C*. X
Perfectionnements des plaques d'accumulateurs (*b*). — *Geoffroy Saboureau* X
Emploi de sulfhydrate d'ammoniaque liquide pour la préparation de la matière active des accumulateurs à oxydes rapportés (*b*). — *Henri Fredet*. IX
Système de montage des plaques d'accumulateurs, évitant toute chute de matière active (*b*). — *Auguste Téroute, Henri Weiller, Léon Caillard*. IX
Electrolyte plastique de consistance pâteuse pour accumulateurs électriques (*b*). — *William Peto* et *J.-W.T. Cadett*. IX
Electrolyte pour plaques d'accumulateurs (*b*). — *Edouard Sandhagen* et *Joseph Lürgen*. . VIII
Nouveau dispositif de grille support pour accumulateurs (*b*). — *Pierre Meusnier* et *Guillaume Monnier*. XXXIV
Cadre pour électrodes de piles galvaniques réversibles (*b*). — *Herbert Cottrell* IX
Connexion souple et hermétique pour accumulateurs électriques (*b*). — *Henri Contal* . . X

USINES GÉNÉRATRICES. — Usine génératrice et stations de transformation des tramways Bruxellois. — *J. Reyval* 201
Usine génératrice hydraulique à courants triphasés de Likeri (Grèce). XXXII
L'usine électrique de la papeterie d'Albbruck . XXXVIII
Usine à turbines à vapeur de Saint-Ouen (Seine) . LXIV
Station d'éclairage et de traction électriques de Pueblo (Colorado) (*p*). — *J.-H. Rusby* . CV
Quelques notes sur les usines génératrices du continent. — *H.-L. Riseley* 115
Construction des stations hydrauliques (*p*). — *A.-D. Adams*. LXXX
Tendances du développement des stations centrales. — *Scott* 117
Limites rationnelles et économiques de la puissance des stations centrales. — *H.-A. Lardner*. 118
La tarification de l'énergie électrique à Cologne. LXVI

Transmission et Distribution.

GÉNÉRALITÉS. — Système Bedell de distribution composée. — *A.-S. Mc Allister* 25
Distribution à trois fils, système Norman Rowe (*p*) XCV
Système E.-W. Rice de distribution électrique (*p*). CV
Discussion des communications sur les lignes à hautes tensions 117
Sur les lignes de transmission à grande distance. — *E.-W. Cowan* et *L. Andrews*. 270
Du choix des fréquences dans les transmissions d'énergie à très grandes distances.— *P.-M. Lincoln* 477

Sur la compensation des variations de charge dans les installations de transport d'énergie. — *G. Meyerberg* 60

Sur la solution graphique de quelques problèmes relatifs aux courants alternatifs. — *E. Orlich* 180

Digitized by Google

Appareillage. — Sur les substances isolantes. . . II
Perforation des corps isolants par l'étincelle électrique (*p*). — *Walther* CXL
Conduits en poterie (*p*). CXXX
Indicateur de terre Badeau (*p*) CXL
Indicateur de phase Woodbridge XXXVI
Coupe-circuit à temps C.-D. Haskins (*p*) XCVI
Appareils de sécurité des stations et sous-stations. — *Philip Torchio* 119
Effets de commotions électriques (*p*). XLV
Choc électrique à haute tension résultant de l'électrisation produite par de la vapeur d'échappement. XXXVIII

Installations. — Transport d'énergie de Cascade (Canada) (*p*) XLVI
Transport d'énergie dans l'Afrique du Sud (*p*). . XXIV
Transmissions électriques sous le sol et l'eau (*p*). — *A. Adams* CXVI
Les applications de l'électricité dans la région stéphanoise. XXXII

Applications mécaniques.

Moteurs. — Notes sur les moteurs monophasés à collecteurs. — *A. Blondel* . . . 321, 423, 486
Moteurs à courant alternatif pour vitesse variable (*p*). — *Hichter* CXL
Résultats d'essais récents effectués sur les moteurs Couffinhal. — *J. Courbier* 72
Sur quelques diagrammes du moteur asynchrone monophasé. — *H. Gœrges*. 93
Méthodes de réglage de la vitesse des moteurs shunt. — *W. Cooper*. 116
Mise en marche Hélios pour moteurs asynchrones 259
Appareil de protection pour moteurs (*p*) XXIV
Procédé de suppression des fluctuations de moteurs (*p*). LXXX

Appareils. — Applications mécaniques de l'électricité. — *G. Richard* 121
Essoreuse électrique Watson Laidlaw and Co . . 121
Essoreuse électrique Pott, Cassels et Williamson . 122
Embrayage électromagnétique Le Pontois 123
Embrayage électromagnétique Crocker Wheeler . 125
Embrayage électromagnétique de l'Electric Motive Power Co 125
Embrayage électromagnétique de la General Electric Co 127
Embrayage électromagnétique Schuster et Heinreich 128
Arrêt à distance Monarch. 128
Arrêt à distance Corliss 130
Arrêt à distance Teiper. 130
Actionnement électrique d'arbres de transmission (*p*). CXVII

Installations. — Filature et tissage de soie à moteurs électriques en Italie (*p*). CXLI
La commande électrique dans les ateliers. — *A.-B. Chatwood*. 312
Applications de l'électricité dans les usines et les chantiers maritimes. — *A.-D. Williamson*. 196
L'électricité dans les mines (*p*). — *Sydney Walker*. CXVII
L'état actuel du labourage électrique. — *Emile Guarini*. 260
L'état actuel de l'électroculture. — *E. Guarini*. . 101

Traction et Propulsion.

Sur la traction électrique par moteur-série à courant alternatif. — *G. Finzi* 394
Essais de traction par courant alternatif simple à Berlin. — *J.-W. Blackstone*. 441
Essais de traction à courant alternatif simple sur les tramways de Milan XXXIV
Essais de traction électrique à grande vitesse, en Allemagne. LVI
L'électricité comme force motrice sur les grandes lignes (*p*). LXXXI
Sur la traction électrique sur les chemins de fer et les tramways. LXXXVIII
Le transport des marchandises par les tramways électriques. — *Alfred-H. Gibbings* . . . 473
Métropolitain à voies glissantes, système G. Sautereau 182
Protection des conduites métalliques contre les courants vagabonds des tramways électriques. LII
Guide de trôlet Mc Cartney (*p*). XXXVI
Frein électromagnétique F.-C. Newel (*p*) XCVI
Frein électromagnétique (*p*). — *E.-R. Hill*. . . . CXLI
Etude magnétique de l'état moléculaire des essieux de locomotives et de voitures de chemins de fer. — *A. Sandaran*. 98
Les installations électriques de la ligne des Invalides à Versailles. — *F. Guery* 341, 369, 414, 447.
Ligne de traction de Saint-Georges de Commiers à La Mure. — *J.-W. Blackstone*. 130
Chemin de fer électrique Rome-Naples (*p*). . . . CXLII
Réseaux de transport d'énergie du Métropolitain de Paris. LIV

Digitized by Google

Le métropolitain et la neige. cx
Tramways légers de Portsmouth-Hampshire (*p*) . CXLII
Les tramways électriques au Japon. CXXVI
Projets d'installations de lignes à trôlets à Paris. LIV
Chemins de fer et tramways électriques en exploitation et en construction en France au 1er janvier 1903. XCVIII
Les accidents de tramways électriques aux États-Unis XCVIII
Fauteuils automobiles électriques de l'Exposition de Saint-Louis CXXXVII
Touage électrique sur le canal Maimi-Erié . . . XL
Halage électrique sur canaux (*p*). — *F.-C. Perkins*. CVI

Télégraphie et Téléphonie.

Le télégraphe imprimeur rapide Siemens et Halske CXXXVIII
Quelques brevets sur la télégraphie sans fil. — *A. Turpain* 499
La télégraphie sans fil, d'après Fessenden. — *Lindow*. 28
Télégraphie sans fil, système de Forest 187
Télégraphie sans fil, système de Forest (*p*). . . LXXXI
Système Tesla de télégraphie sans fil syntone. . . 186
Avertisseur automatique d'incendie par télégraphie sans fil, système Guarini. 190
Au sujet de quelques problèmes de télégraphie sans fil (*p*). — *J.-B. Baker* LXXXI
Sur un nouveau procédé permettant d'accorder les stations de télégraphie sans fil à l'aide du multiplicateur. — *Arco* 297
La conférence internationale de Berlin sur la télégraphie sans fil. — *A. Turpain*. 161
La conférence télégraphique internationale de Londres. LXXVI
Télégraphie sans fil à Chicago (*p*). XLVI
Télégraphie sans fil au Japon (*p*) LXXXI
Télégraphie sans fil à l'Exposition universelle de Saint-Louis (*p*) LXXXI
Sur l'amélioration des transmissions téléphoniques. *T. Pausert* 452
Action d'une inductance uniformément répartie sur le pouvoir de transmission des câbles téléphoniques. — *F. Dolezalek* et *A. Ebeling*. 466
Sur les câbles téléphoniques à enveloppe en fil de fer. — *C.-F. Walsöe*. 465
Le télégraphone de M. V. Poulsen. — *A. Gradenwitz*. 306
Flammes parlantes (*p*). LXXXII

Applications thermiques.

Soudeuses électriques Thomson-Houston. — *J. Reyval*. 81
Procédé de soudure életrique Spurek et Giesler (*p*) CXVIII
Les fours électriques à résistance (*p*). — *F.-A.-J. Fitz Gerald* CVI
Fours électriques du Laboratoire d'essais du Conservatoire des Arts et Métiers IV
Sur le chauffage électrique des voitures de chemins de fer. LXXIV
Pulvérisation des métaux rendus incandescents par le courant (*p*). — *G. Aeckerlein*. LXVI

Éclairage électrique.

Sur l'arc électrique ; notes sur les travaux de Mme Hertha Ayrton. — *A. Blondel*. 361
Rôle de la conductivité calorifique des électrodes dans les arcs voltaïques (*p*). — *G. Granqvist* CXVIII
Sur l'état du carbone vaporisé dans les lampes à incandescence. — *M. Berthelot* 356
Nouveau type de lampe à 220 volts (*p*) XLVI
Tige incandescente pour lampe Nernst (*p*). . . . XCVI
L'arc à flamme et l'arc à vapeur de mercure. — *E. Hospitalier*. 75
Discussion de la communication de M. Hospitalier. *Tripier*, *Claude*, *Lauriol Aliamet* et *de Valbreuze*. 77
Sur la pression dans l'arc au mercure (*p*). — *J. Stark* et *M. Reich*. v
Les différents systèmes d'éclairage électrique des trains. — *R. Goetze* 139
Éclairage par accumulateurs des chemins de fer de l'État danois. 139
Éclairage par accumulateurs des wagons-postes allemands 140
Système Stone pour l'éclairage des trains. 141
Système Moskowitz pour l'éclairage des trains . . 141
L'éclairage électrique des voitures de chemins de fer. — *R. Goetze*. 504
Avantages de l'éclairage électrique isolé (*p*). — *Runyon*. LXXXII
L'éclairage électrique est-il plus économique que l'éclairage au gaz ? (Jurisprudence). CXXXIX

Digitized by Google

Électrochimie et Électrométallurgie.

Sur les actions métalliques spécifiques dans la réduction et l'oxydation électrolytiques. — *A. Coehn* 40
Corrosions de métaux par l'électrolyse (*p*). — *A. Knudson* xxxiv
Sur la cinétique chimique de l'acide sulfurique de contact. — *Bodenstein* 114
Sur le zirconium colloïdal. — *E. Wedeking*. . . . 40
Sur la décomposition de l'oxyde de carbone. — *Rudolf Schenck* 277
Réactions chimiques aux températures les plus élevées. — *C. Zenghelis*. 114
Sur les déterminations des poids moléculaires, par les très hautes températures. — *W. Nernst*. 40
Sur les emplois industriels de la concentration des solutions par la congélation et sur la production du froid par l'action des solutions concentrées sur la glace. — *G. Monti* . . 280
Théorie élémentaire des électrolyseurs à diaphragme. — *Ph.-A. Guye* 279
Les diaphragmes métalliques (*p*). — *E.-A. Byrnes* LXIX
L'électrolyse de l'eau (*p*). — *J.-W. Richards* et *W.-S. Landis* LXX
Effets chimiques des étincelles électriques au sein des gaz (*p*). — *H. Pauling*. LXXXII
Sur les progrès réalisés dans l'industrie de l'ozone. — *M. Otto* 434
Influence de la nature des électrolytes et de la matière des électrodes sur la formation de l'ozone (*p*). — *R. Kremann* XCVI
Sur la production de l'acide nitrique par décharges électriques. — *J. de Kowalski* . . . 505
Sur la préparation du bisulfure de carbone au four électrique. — *E.-R. Taylor*. 153
Sur les produits électrométallurgiques renfermant du silicium. — *P. Lebeau* 40
Sur la dissociation de l'anhydride carbonique des solutions de carbonate de sodium. — *F.-W. Küster*. 275
Essai et analyse du carbure de calcium et de l'acétylène. — *H. Gall*. 319
Origine des impuretés du gaz acétylène. Nouveaux moyens de les éliminer. — *L.-M. Bullier* et *L. Maquenne* 143
Sur la préparation du baryum. — *A. Guntz*. . . . 40
Aluminium et bauxite (*p*) CXIX
Extraction du silicium des silicates d'aluminium au moyen de l'aluminium (*p*). XLVII
Production du fer et de l'acier au four électrique. — *H. Goldschmidt* 148
Procédé Stassano pour la production de l'acier au four électrique. 149
Procédé Conley pour la production de l'acier au four électrique 151
Procédé Keller pour la production de l'acier au four électrique. 151
Procédé Héroult pour la production de l'acier au four électrique. 152
Procédé Kjellin pour la production de l'acier au four électrique. 152
Sur l'électrométallurgie des ferro-siliciums. — *A. Keller*. 224
Sur l'électrométallurgie du fer et de l'acier. — *A. Keller* 228
Procédé Ruthenberg de réduction des minerais de fer (*p*) XLVII
Progrès de l'électro-métallurgie du fer (*p*). — *M. Ruthenburg* LXX
Le four électrique appliqué à la production du fer et de l'acier (*p*). — *J.-B.-C. Kershaw* . . CXIX
Utilisation pratique de l'état passif du fer (*p*). — *Ch.-F. Burgess* LX
Le rendement des anodes de nickel dans le nickelage galvanique (*p*). — *O.-W. Brown* LXX
Sur l'électrométallurgie du cuivre. — *A. Keller* . . 239
Procédé Harrison et Day pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre. 224
Le raffinage électrolytique du cuivre (*p*). — *W.-D. Bancroft* LXXII
Sur la peroxydation électrolytique du plomb métallique. — *Alfred Rokotnitz*. . . . .
Sur les installations galvanoplastiques. — *H. Sackur*. 280
Electrométallurgie de l'or (*p*). — *W.-H. Walker*. LXXXIV

MESURES

Sur les unités de mesure électrochimiques. — *W. Nernst*. 37
Rapport présenté par la Commission instituée par le Congrès de 1900, en vue de la désignation des grandeurs fondamentales de l'électrochimie. — *C. Marie*. 38

Digitized by Google

Loi belge fixant les unités électriques (1903) . . LXXIV
Force électromotrice de piles Daniell (*p*). — *J.-W. Commelin* et *Ernst Cohen*. CVII
Calcul de la force électromotrice des éléments de piles du type calomel reliés en opposition (*p*). — *J.-N. Brönsted* CVII
Mesure des grandes différences de potentiel (*p*). — *E. Voigt* XII
Dispositif Kolben pour l'analyse des courants périodiques 512
Un nouveau galvanomètre Thomson (*p*) LXXXIV
Le galvanomètre à corde et l'électrocardiogramme humain (*p*). — *W. Einthoven* CVIII
Voltamètre à électrodes de platine. — *A. Bartorelli*. LXXII
Graduation de l'échelle d'un magnétomètre à suspension unifilaire (*p*). — *Schulze* . . . CXLIII
Emploi de la polarisation par le courant continu dans la mesure des résistances électrolytiques par la méthode de Kohlrausch (*p*). — *E.-R. Wolcott*.. CVIII
Intensités lumineuses horizontale et sphérique moyennes. — *Alexander Russell* 193
Emploi de la lampe électrique à incandescence comme étalon photométrique. — *Ch. Fabry*. 411
Recherches de photométrie solaire et stellaire. — *Ch. Fabry*. 413
La pratique en photométrie (*p*) CXIX
La précipitation quantitative et la séparation des métaux par électrolyse- — *H. Danneel*. . 478
Sur le calibrage électrique d'un fil conducteur (*p*). — *G. di Ciommo* XLIV
Détermination de la chaleur latente de vaporisation par une méthode électrique (*p*). — *A.-C. Smith*. CVIII

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

ACADÉMIE DES SCIENCES. — Séance du 14 septembre 1903 :
Simplicité des spectres de la lumière cathodique dans les gaz azotés et carbonés. — *H. Deslandres*. 67
Description d'un orage très localisé. — *Jean Mascart*. 70
Séance du 21 septembre :
Sur les propriétés et la constitution des aciers au manganèse. — *Léon Guillet* 71
Séance du 5 octobre :
Conditions qui déterminent le signe et la grandeur de l'électrisation par contact. — *Jean Perrin*. 147
Séance du 12 octobre :
Electrisation de contact et théorie des solutions colloïdales. — *Jean Perrin* 192
Séance du 19 octobre :
Sur l'état du carbone vaporisé dans les lampes à incandescence. — *M. Berthelot*. 356
Séance du 27 octobre :
Sur la phosphorescence scintillante que présentent certaines substances sous l'action des rayons du radium. — *Henri Becquerel*. 359
Changement de résistance électrique du sélénium sous l'influence de certaines substances. — *A.-B. Griffiths*. 393
Séance du 2 novembre :
Sur de nouvelles actions produites par les rayons *n*; généralisation des phénomènes précédemment observés. — *R. Blondlot*. . 393

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE :
Théorie des aurores boréales. — *Nordmann*. 471
Cohésion diélectrique des gaz et la température. — *E. Bouty* 471
Photographie par catalyse ou catatypie. — *Victor Henri*. 473
Propriété des aciers au nickel. — *Ch.-Ed. Guillaume*. 473

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ELECTRICIENS. — Séance du 1er juillet 1903 :
Résultats d'essais récents effectués sur les moteurs Couffinhal. — *J. Courbier*. 72
L'arc à flamme et l'arc à vapeur de mercure. — *E. Hospitalier*.. 75
Discussion de la communication de M. Hospitalier. — *Tripier, Claude, Lauriol, Aliamet* et *de Valbreuze* 77
Séance du 4 novembre :
Sur l'accumulateur Edison. — *P. Janet*. . . . 267
Sur la traction électrique par moteur-série à courant alternatif. — *G. Finzi*. 394
Séance du 2 décembre :
Application industrielle des méthodes d'examen des matériaux magnétiques. — *Brunswick*. 432

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS. — Séance du 20 novembre 1903 :
Sur les projets récents réalisés dans l'industrie de l'ozone. — *M. Otto* 434

BRITISH ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCES :
Les corps radio-actifs et la queue des comètes. — *Vernon Boys* 153

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS :
Quelques notes sur les usines génératrices du continent. — *H.-L. Riseley* 115
Intensités lumineuses horizontale et sphérique moyennes. — *Alexander Russell* 193

Digitized by Google

Applications de l'électricité dans les usines et les chantiers maritimes. — *A.-D. Williamson* 196
Sur les lignes de transmission à grande distance. — *E.-W. Cowan* et *L. Andrews*. . 270
La commande électrique dans les ateliers. — *A.-B. Chatwood* 312
Comparaison entre les machines à vapeur et les moteurs électriques pour la commande des machines auxiliaires des stations centrales. — *C.-D. Taite* et *R.-S. Downe* . . 416
Le transport des marchandises par les tramways électriques. — *Alfred H. Gibbings*. 473

American Institute of Electrical Engineer :

Méthodes de réglage de la vitesse des moteurs shunt. — *W. Cooper*. 116
Discussion des communications sur les lignes à hautes tensions 117
Tendances du développement des stations centrales. — *Scott* 117
Limites rationnelles et économiques de la puissance des stations centrales. — *H.-A. Lardner*. 118
Appareils de sécurité des stations et sous-stations. — *Philip. Torchio* 119
Discussion des communications de MM. Behrend, Adams et Garfield. 317
Discussion sur quelques points de la théorie des courants alternatifs. — *W.-S. Franklin* 318
Compoundage des alternateurs auto-excitateurs pour charges et facteurs de puissance variables. — *A.-S. Garfield* 439
Du choix des fréquences dans les transmissions d'énergie à très grandes distances. — *P.-M. Lincoln*. 477

Deutsche Bunsen Gesellschaft :

Sur les unités de mesure électrochimiques. — *W. Nernst* 37
Rapport présenté par la Commission instituée par le Congrès de 1900, en vue de la désignation des grandeurs fondamentales de l'électrochimie. — *C. Marie* 38
Sur les variations de résistance électrique des matières autres que le sélénium sous l'influence de la lumière. — *L. Ancel*. . . . 39
Sur la préparation du baryum. — *A. Guntz*. . 40
Sur les produits électrométallurgiques renfermant du silicium. — *P. Lebeau* 40
Sur les actions métalliques spécifiques dans la réduction et l'oxydation électrolytiques. — *A. Coehn* 40
Sur les déterminations des poids moléculaires, par les très hautes températures. — *W. Nernst* 40
Sur le zirconium colloïdal. — *E. Wedeking* . 40
Sur l'électrolyse avec courants alternatifs, d'après les recherches de Karl Schick. — *Le Blanc* 110
Sur la cinétique chimique de l'acide sulfurique de contact. — *Bodenstein*. 114
Réactions chimiques aux températures les plus élevées. — *C. Zenghelis* 114
Sur les substances radioactives. — *W. Marckwald*. 115
Production du fer et de l'acier au four électrique. — *H. Goldschmidt*. 148
Sur la préparation du bisulfure de carbone au four électrique. — *E.-R. Taylor* 153
Sur la dissociation de l'anhydride carbonique des solutions de carbonate de sodium. — *F.-W. Küster* 275
Sur la décomposition de l'oxyde de carbone. — *Rudolf Schenck* 277
Théorie élémentaire des électrolyseurs à diaphragme. — *Ph.-A. Guye* 279
Sur les emplois industriels de la concentration des solutions par la congélation et sur la production du froid par l'action des solutions concentrées sur la glace. — *G. Monti*. 280
Sur les installations galvanoplastiques. — *H. Sackur* 280
Essai et analyse du calcium et de l'acétylène. *H. Gall*. 319
Sur la luminescence des ions. — *Werner von Bolton*. 319
La précipitation quantitative et la séparation des métaux par l'électrolyse. — *H. Danneel* 478

Société industrielle de Mulhouse. XXVI

Société Le Triphasé. — Assemblée générale . . . XLII

Expositions, Congrès, Laboratoires.

Exposition de Milan (1905) CXXII
Exposition de Saint-Louis (1904). L
Le Congrès d'Angers de l'Association française pour l'avancement des sciences. — *J. Blondin*. 401
Congrès international de l'Exposition de Saint-Louis (1904). LXXXVI
Cours du Conservatoire national des Arts et Métiers. LXII
Prix Nobel CXXXIV

Bibliographie.

Technologie der Dynamo-Maschinen. — *E. Schulz*. XLVII
Elektrische Apparate für Starkströme. — *J. Herlacher*. XLVIII
L'électrosidérurgie. XLVIII
Chemin de fer électrique du Fayet à Chamonix et à la frontière suisse (B). — *M. Geoffroy* . CXX
Leçons sur la propagation des ondes et les équations de l'Hydrodynamique (B). — *Jacques Hadamard*. CXLIV
Lss installations hydro-électriques dans la région des Alpes (B). — *M. de la Brosse* CXX
A travers l'électricité (B). — *Georges Dary* CXX

Digitized by Google

Les grandes applications de l'électricité (B). — *Alfred Soulier*. cxx
Guide pratique de mesures et essais industriels (B). — *A. Montpellier* et *M. Aliamet* . . . cxxxii
Propagation de l'électricité ; Histoire et Théorie (B). — *Marcel Brillouin* cxxxii
La télégraphie sans fil, l'œuvre de Marconi (B). — *Emile Guarini*. cxliv

Divers.

Règlement relatif aux brevets d'invention xcii
Développement des applications électriques en Egypte xxix
Conditions du progrès en électrochimie (*p*). — *J.-W. Richards* lxxxii
Propriétés électriques des muscles et des nerfs (*p*). — *S. Tchierieff* xcv
Photographie par catalyse ou catatypie. — *Victor Henry*. 473

Digitized by Google

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

A

Adams (Alton A.). — Les chutes d'eau dans la distribution de l'électricité (*p*). LXXX
Construction des stations hydrauliques (*p*). LXXX
Transmissions électriques sous le sol et l'eau (*p*). CXVI
Aeckerlein (G.). — Pulvérisation des métaux rendus incandescents par le courant (*p*). . . LXVII
Aliamet (M.). — Voir *Montpellier* (*A.*) et *Aliamet* (*M.*) (B) CXXXII
Allister (A.-S. Mc). — Système Bedell de distribution composée. 25
Ancel (L.). — Sur les variations de résistance électrique des matières autres que le sélénium sous l'influence de la lumière. 39
Andrews (L.).— Voir *Cowan* (*E.-W.*) et *Andrews* (*L.*) 270
Arco. — Sur un nouveau procédé permettant d'accorder les stations de télégraphie sans fil à l'aide du multiplicateur. 297
Armagnat (H.). — Sur les formes des courants dans les bobines d'induction. 241
Arnold (E.). — Contribution à l'étude expérimentale des dynamos 453
Aschkinass (E.). — Variation de température dans le champ magnétique. 36

B

Badeau. — Indicateur de terre (*p*) CXL
Baker (J.-B.). — Au sujet de quelques problèmes de télégraphie sans fil (*p*). LXXXI
Banckoft (W.-D). — Le raffinage électrolytique du cuivre (*p*) LXXII
Bartorelli (A.). — Voltamètre à électrodes de platine (*p*). LXXII
Beaulard (F.). -- Sur l'hystérésis diélectrique et la méthode d'oscillation de M. W. Schaufelberger 404
Becker (A.). — Conductibilité acquise par les isolants solides sous l'action des rayons du radium 145
Becquerel (Henri).— Sur la phosphorescence scintillante que présentent certaines substances sous l'action des rayons du radium. . 359
Behrend (B.-A.).— Méthode pour l'essai des grands alternateurs. 431
Bement (A.). — Rendements des chaudières et foyers (*p*) CIV
Berthelot (M.). — Sur l'état du carbone vaporisé dans les lampes à incandescence. 356
Blackstone (J.-W.).— Ligne de traction de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure. . . . 130
Essai de traction par courant alternatif simple à Berlin 441
Blondel (A.). — Notes sur les moteurs monophasés à collecteurs 321, 423, 486
Sur l'arc électrique ; notes sur les travaux de M[me] Hertha Ayrton. 361
Remarques à propos de la communication de M. Turpain : Sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction 407
Blondin (J.). — Le Congrès d'Angers de l'Association française pour l'avancement des sciences. 401
Blondlot (R.). — Sur de nouvelles actions produites par les rayons *n*; généralisation des phénomènes précédemment observés 393
Bodenstein. — Sur la cinétique chimique de l'acide sulfurique de contact. 114
Bouty (E.). — Cohésion diélectrique des gaz et la température. 471
Boys (C. Vernon). — Les corps radio-actifs et la queue des comètes. 153
Brillouin (Marcel).—Propagation de l'électricité ; Histoire et Théorie (B). CXXXII
Brönsted (J.-N.). — Calcul de la force électromotrice des éléments de piles du type calomel, reliés en oppositions (*p*). CVII
Brosse (M. de la). — Les installations hydro-électriques dans la région des Alpes (B) . . CXX
Brown (O.-W.). — Le rendement des anodes de nickel dans le nickelage galvanique (*p*) . LXX
Brunswick. — Application industrielle des méthodes d'examen des matériaux magnétiques 432
Bullier (L.-M.) et **Maquenne** (L.). — Origine des impuretés du gaz acétylène; nouveaux moyens de les éliminer 143

Digitized by Google

Burgess (Ch.-F.). — Utilisation pratique de l'état passif du fer (*p*) LX
Byrnes (E.-A.). — Les diaphragmes métalliques (*p*) LXIX

C

Cadett (J.-W.-T.). — Voir *Peto* (*William*) et *Cadet* (*J.-W.-T.*) (*b*) IX
Caillard (Léon). — Voir *Téroute* (*Auguste*), *Weiller* (*Henri*) et *Caillard* (*Léon*) (*b*) . . IX
Cartuey (Mc). — Guide de trôlet (*p*) XXXVI
Cary (A.). — La fumée et la détermination de sa densité (*p*) CIV
Charpy (G.). — Sur les aciers doux employés dans la construction des machines électriques. 169
Chatwood (A.-B.). — La commande électrique dans les ateliers. 312
Christie (W.-W.). — Les réchauffeurs d'eau d'alimentation (*p*). XLV
Ciommo (G. di). — Sur le calibrage électrique d'un fil conducteur (*p*). XLIV
Coehn (A.). — Sur les actions métalliques spécifiques dans la réduction et l'oxydation électrolytiques. 40
Cohen (Ernst). — Voir *Commelin* (*J.-W.*) et *Cohen* (*Ernst*) (*p*) CVII
Commelin (Edmond). — Pile constante à haut voltage ne travaillant pas à circuit ouvert et pouvant être facilement régénérée après son épuisement (*b*). X
Commelin (J.-W.) et Cohen (Ernst). — Forces électromotrices des piles Daniell (*p*) CVII
Conley. — Production de l'acier au four électrique. 151
Contal (Henri). — Connexion souple et hermétique pour accumulateurs électriques (*b*). . . . X
Cooper (W.). — Méthodes de réglage de la vitesse des moteurs shunt 116
Corliss. — Arrêt à distance 130
Cottrell (Herbert). — Électrodes pour piles galvaniques réversibles (*b*). VIII
Cadre pour électrodes de piles galvaniques réversibles (*b*). IX
Coudres (Th. des). — Influence de la « fenêtre » de Lenard sur les rayons cathodiques . . 191
Courbier (J.). — Résultats d'essais effectués sur les moteurs Couffinhal 72
Cowan (E.-W.) et Andrews (L.). — Sur les lignes de transmission à grande distance. . . . 270
Crocker Wheeler. — Embrayage électromagnétique 125
Czermak (P.). — Déperdition électrique dans l'atmosphère (*p*) VIII

D

Dall' Oppio (L.). — A propos de l'interrupteur de Wehnelt (*p*) VII
Danneel (H.). — La précipitation quantitative et la séparation des métaux par analyse. . . . 478
Darling (Robert). — Accumulateur 461
Dary (Georges). — A travers l'électricité (B). . . CXX
Day. — Voir *Harrison* et *Day* 224
Defays (J.). — Action de la vapeur surchauffée sur les métaux industriels CXXXIV
Defregger (R.). — Chute de potentiel cathodique dans l'hélium (*p*) LXVIII
Della Riccia (A.). — Causes et effets de la variabilité des éléments d'un circuit électrique. 27
Deslandres (H.). — Simplicité des spectres de la lumière cathodique dans les gaz azotés et carbonés 67
Dolezalek (F.) et Ebeling (A.). — Action d'une inductance uniformément répartie sur le pouvoir de transmission des câbles téléphoniques. 466
Downe (R.-S.). — Voir *Taite* (*C.-D.*) et *Downe* (*R.-S.*) 436

E

Ebert (H.) et Ewers (P.). — Émanation radio-active provenant du sol. 310
Edison (Thomas-A.). — Élément galvanique réversible 19
Egoroff (S.-G.). — L'électricité atmosphérique (*p*) XCV
Einthover (W.). — Le galvanomètre à corde et l'électro-cardiogramme humain (*p*) . . . CVIII
Electric motive Power Co. — Embrayage électromagnétique 125
Ewers (P.). — Voir *Ebert* (*H.*) et *Ewers* (*P.*) . . 310

F

Fabry (Ch.). — Emploi de la lampe électrique à incandescence comme étalon photométrique. 411
Recherches de la photométrie solaire et stellaire 413
Finzi (G.). — Sur la traction électrique par moteur-série à courant alternatif. 394
Finzi (L.). — Recherches sur l'amorcement des machines dynamo 19
Fitz Gerald (F.-A.-J.). — Les fours électriques à résistance (*p*) CVI
Fleming (J.-A.). — Détecteur d'ondes pour mesures quantitatives (*p*) CXLIII
Forest (de). — Système de télégraphie sans fil. . 187
Système de télégraphie sans fil (*p*). . . . LXXXI
Franklin (W.-S.). — Discussion sur quelques points de la théorie des courants alternatifs. 318
Fredet (Henri). — Emploi de sulfhydrate d'ammoniaque liquide pour la préparation de la

Digitized by Google

matière active des accumulateurs à oxydes rapportés (*b*). IX

G

GALL (H.). — Essai et analyse du carbure de calcium et de l'acétylène. 319
GARFIELD (A.-S.). — Compoundage des alternateurs auto-excitateurs pour charges et facteurs de puissance variables 439
GENERAL ELECTRIC Co. — Embrayage électro-magnétique 127
GENERAL STORAGE BATTERY C°. — Procédé pour la fabrication de plaques d'accumulateurs au plomb (*b*). X
GENNARO (Scalfaro). — Vitesse de la lumière dans les cristaux magnétiques (*p*). XLIV
GEOFFROY (M.). — Chemin de fer électrique du Fayet à Chamonix et à la frontière suisse (B.). CXX
GEOFFROY-SABOUREAU. — Perfectionnements des plaques d'accumulateurs (*b*). X
GIBBINGS (Alfred H.). — Le transport des marchandises par les tramways électriques. . 473
GIESLER. — Voir *Spurek* et *Giesler* (*p*). CXVIII
GOCKEL (A.). — Déperdition électrique par les temps couverts 34
GŒRGES (H.). — Sur quelques diagrammes du moteur asynchrone monophasé. 93
Sur la marche en parallèle des alternateurs (*p*) CXXIX
GŒTZE (R.). — Les différents systèmes d'éclairage électrique des trains 139
L'éclairage électrique des voitures de chemins de fer 504
GOLDHAMMER (D.). — Transformation d'un courant pulsant en courant alternatif. 257
GOLDSCHMIDT (H.). — Production du fer et de l'acier au four électrique 148
GRADENWITZ (A.). — Le télégraphone de M.-V. Poulsen. 306
GRANQVIST (G.). — Rôle de la conductivité calorifique des électrodes dans les arcs voltaïques (*p*) CXVIII
GRIFFITHS (A.-B.). — Changement de résistance électrique du sélénium sous l'influence de certaines substances 393
GRISSON (Robert). — Nouveau redresseur de courant (*p*). LX
GUARINI (E.), — L'état actuel de l'électroculture. . 101
Système avertisseur automatique d'incendie par télégraphie sans fil. 190
L'état actuel du labourage électrique. . . . 260
La télégraphie sans fil ; l'œuvre de Marconi (B). CXLIV
GUERY (F.). — Les installations électriques de la ligne des Invalides à Versailles. 341, 369, 414, 447
GUILBERT (C.-F.). — Sur la décomposition d'une caractéristique à vide relevée expérimentalement. 481
GUILLAUME (Ch.-Ed.). — Propriétés des aciers au nickel. 473
GUILLET (Léon). — Sur les propriétés et la constitution des aciers au manganèse 71
GUNTZ (A.). — Sur la préparation du baryum. . . 40
GUYE (Ph.-A.). — Théorie élémentaire des électrolyseurs à diaphragme. 279
HADAMARD (Jacques). — Leçons sur la propagation des ondes et les équations de l'hydrodynamique (B). CXLIV
HAHN (K.). — Les rayons de Rœntgen influent-ils sur la conductibilité de l'air (*p*). VI

H

HAMBUECHEN (C.). — Redresseur de courant à plaque d'aluminium (électrolyse de l'hydroxyde de sodium au moyen des courants alternatifs) LXVIII
HARRISON et DAY. — Procédé pour la fabrication électrolytique des tubes de cuivre 224
HASKINS (C.-D.). — Coupe-circuit à temps (*p*) . . XCVI
HAUSER (Ewigue D.). — Nouvel électrolyte pour l'interrupteur Wehnelt (*p*) VII
HELIOS ELEKTRIZITÄTS AKTIEN GESELLSCHAFT. — Mise en marche pour moteurs asynchrones. 259
HENRY (Victor). — Photographie par catalyse ou catatypie 473
HERLACHER (J.). — Elektrische Apparate fur Starkstrome (B). XLVIII
HÉROULT. — Production de l'acier au four électrique. 152
HEYDWEILLER (A.). — Etude théorique des relations mutuelles des phénomènes élastiques et des phénomènes magnétiques 311
La susceptibilité magnétique des sels de fer et de manganèse dépend-elle de l'intensité du champ. 471
HIGHTER. — Moteurs à courant alternatif pour vitesse variable (*p*) CXL
HILL (E.-R.). — Frein électromagnétique (*p*) . . . CXLI
HONDA (K.) et SHIMIZU (S.). — Sur l'aimantation et les variations de longueur des métaux et alliages ferromagnétiques à la température de l'air liquide (*p*). CXXVIII
HOSPITALIER (E.). — L'arc à flamme et l'arc à vapeur de mercure 75
Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu 255

J

JANET (P). — Sur l'accumulateur Edison 267

K

KELLER (A.). — Production de l'acier au four électrique . . . 151
Sur l'électrométallurgie du fer et de l'acier. 228
Sur l'électrométallurgie des ferro-siliciums . . . 224
Sur l'électrométallurgie du cuivre 239
KERSHAW (J.-B.-C.). — Le four électrique appliqué à la production du fer et de l'acier (*p*) . . CXIX
KINZBRUNNER (E.). — Détermination des pertes par frottement dans les dynamos à courant continu . . . LXXX
KJELLIN. — Production de l'acier au four électrique . . . 152
KLATT (V.). — Voir *Lenard* (P.) et *Klatt* (V.). . . VI
KOLBEN. — Dispositif pour l'analyse des courants périodiques . . . 512
KÖNING (Aug.). — Méthode graphique pour obtenir la valeur de la tension et du courant secondaire dans un transformateur asymétriquement chargé . . . 20
KOWALSKI (J. DE). — Sur l'amortissement des oscillations électriques de période moyenne. . 403
Sur les décharges électriques dans l'air . . 403
Sur la production de l'acide nitrique par décharges électriques. . . . 505
KREMANN (R.). — Influence de la nature des électrolytes et de la matière des électrodes sur la formation de l'ozone (*p*) . . . XCVI
KNUDSON (A.). — Corrosions de métaux par l'électrolyse (*p*). . . . XXXIV
KÜSTER (F.-W.). — Sur la dissociation de l'anhydride carbonique des solutions de carbonate de sodium. . . . 275

L

LADENBURG (E.). — Recherches sur la déperdition provoquée par les rayons ultra-violets sur une plaque métallique négative dans le vide (*p*). . . . LXVIII
LANDIS (W.S.). — Voir *Richards* (*J.-W.*) et *Landis* (*W.-S.*) (*p*). . . . LXX
LARDNER (H.-A.). — Limites rationnelles et économiques de la puissance des stations centrales . . . 118
LEBEAU (P.). — Sur les produits électrométallurgiques renfermant du silicium. . . . 40
LE BLANC. — Sur l'électrolyse avec courants alternatifs, d'après les recherches de Karl Schick . . . 110
LECHER (E.). — Effet d'écran des gaz vis-à-vis des oscillations électriques . . . 108
LEFÈVRE. — Machine à vapeur à quatre cylindres à double ou à triple expansion . . . 219
LENARD (P.). — Rayons cathodiques à faible vitesse ; leur étude à l'aide de la phosphorescence ; émission secondaire de rayons cathodiques . . . 291
LÉNARD (P.) et KLATT (V.). — Disparition de la phosphorescence sous l'action de la pression (*p*). . . . VI
LE PONTOIS. — Embrayage électromagnétique. . . 123
LIDBURY (A.). — Les décharges d'étincelles à travers la vapeur d'eau (*p*). . . . LIX
LINCOLN (P.-M.). — Du choix des fréquences dans les transmissions d'énergie à très grandes distances . . . 477
LINDOW. — La télégraphie sans fil d'après Fessenden. . . . 28
LOBRY DE BRUYN. — Phénomènes présentés par les ions en solution (*p*) . . . XCIII
LORENTZ (H.-A). — Pouvoirs d'émission et d'absorption des métaux pour les grandes longueurs d'ondes (*p*) . . . XCV
LÜRGEN (Joseph). — Voir *Sandhagen* (*Edouard*) et *Lürgen* (*Joseph*) (*p*) . . . VIII

M

MAQUENNE (L.). — Voir *Bullier* (*L.-M.*) et *Maquenne* (*L.*). . . . 143
MARCKWALD (W.). — Sur les substances radioactives . . . 115
MARIE (C.). — Rapport présenté par la Commission instituée par le Congrès de 1900, en vue de la désignation des grandeurs fondamentales de l'électrochimie . . . 38
MARX (E.). — Décharge des condensateurs dans un circuit bifurqué et propriétés de quelques diélectriques liquides aux fréquences de 10^7 à 10^8 . . . 390
MASCART (Jean). — Description d'un orage très localisé . . . 70
MATHIAS (E.). — Sur la loi de distribution régulière de la force totale du magnétisme terrestre en France au 1er janvier 1896 . . . 408
MAURAIN (Ch.). — Progrès récents dans l'étude du magnétisme . . . 5, 41
Relations entre la constitution des fers carburés et leurs propriétés magnétiques . . 89
MEUSNIER (Pierre) et MONNIER (Guillaume). — Nouveau dispositif de grille, support pour accumulateurs (*b*) . . . XXXIV
MEYERBERG (G.). — Sur la compensation des variations de charge dans les installations de transport d'énergie. . . . 60
MOLTKEHANSEN (J.-J.). — Déterminations électrolytiques de la basicité des acides (*p*). . . LVIII
MONARCH. — Arrêt à distance . . . 128
MONNIER (Guillaume). — Voir *Meusnier* (*Pierre*) et *Monnier* (*Guillaume*) (*b*) . . . XXXIV
MONTI (G.). — Sur les emplois industriels de la

Digitized by Google

concentration des solutions par la congélation et sur la production du froid par l'action des solutions concentrées sur la glace. 280
Montpellier (A.) et Aliamet (M.). — Guide pratique de mesures et essais industriels (B). cxxxii
Moskowitz. — Système pour l'éclairage des trains. 141

N

Neesen (F.). — Le problème d'influence mutuelle des rayons cathodiques (*p*). lx
Nernst (W.). — Sur les unités de mesure électrochimiques. 37
Sur les déterminations des poids moléculaires, par les très hautes températures. 40
Newel (F.-C.). — Frein électromagnétique (*p*) . . xcvi
Nordmann. — Théorie des aurores boréales . . . 471
Norman Rowe. — Système de distribution à trois fils (*p*) xcv

O

Orlich (E.). — Sur la solution graphique de quelques problèmes relatifs aux courants alternatifs. 180
Otto (M.). — Sur les progrès récents réalisés dans l'industrie de l'ozone. 434

P

Pauling (H.). — Effets chimiques des étincelles électriques au sein des gaz (*p*). lxxxii
Pausert (T.). — Générateur multitubulaire vertical C. Mathian 217
Sur l'amélioration des transmissions téléphoniques 452
Peck (J.-S.). — Du choix des tensions dans les transformateurs (*p*) civ
Perkins (F.-C.). — Halage électrique sur canaux (*p*). cvi
Perrin (Jean). — Conditions qui déterminent le signe et la grandeur de l'électrisation par contact 147
Electrisation de contact et théorie des solutions colloïdales. 192
Peters (Franz). — L'élément primaire de H. Csanyi et G. von Barczay 389
Peto (William) et Cadett (J.-W.-T.). — Electrolyte plastique de consistance pâteuse pour accumulateurs électriques (*b*) ix
Piaggesi (G.). — Influence de la température sur la susceptibilité magnétique des liquides (*p*). lx
Picou (R.-V.). — Sur les formules de comparaison des dynamos à courant continu 256
Plowan (A.-B.). — Végétation dans un sol ionisé . 37
Pott, Cassels et Williamson. — Essoreuse électrique 122

R

Reich (M.). — Voir *Stark* (*J.*) et *Reich* (*M.*) (*p*). . v
Reyval (J.). — Soudeuses électriques Thomson-Houston 81
Usine génératrice et stations de transformation des tramways bruxellois 201
Riasse (Alexandre). — Perfectionnements dans les accumulateurs (*b*) x
Rice (E.-W.). — Système de distribution électrique (*p*). cv
Richard (G.). — Applications mécaniques de l'électricité. 121
Richards (J.-W.). — Conditions du progrès en électrochimie lxxxii
Richards (J.-W.) et Landis (W.-S.). — L'électrolyse de l'eau (*p*) lxx
Riecke (Ed.). — Contribution à l'étude de la déperdition de l'électricité dans l'air 64
Riseley (H.-L.). — Quelques notes sur les usines génératrices du continent 115
Roeber (E.-F.). — Les propriétés théoriques des ions en solution (*p*). lxvii
Rokotnitz (A.). — Sur la peroxydation électrolytique du plomb métallique 508
Runge (C.). — Détermination spectroscopique des poids atomiques (*p*) lix
Runyon. — Avantages de l'éclairage électrique isolé (*p*) lxxxii
Rusby (J.-H.). — Station d'éclairage et de traction électriques de Pueblo (Colorado) (*p*). . . cv
Russell (Alexander). — Intensités lumineuses horizontale et sphérique moyennes 193
Ruthenberg (M.). — Progrès de l'électrométallurgie du fer (*p*) lxx
Procédé de réduction des minerais de fer (*p*) xlvii

S

Sackur (H.). — Sur les installations galvanoplastiques. 280
Sandaran (A.). — Étude magnétique de l'état moléculaire des essieux de locomotives et de voitures de chemins de fer 98
Sandhagen (Edouard) et Lürgen (Joseph). — Electrolyte pour plaques d'accumulateurs (*b*) . viii
Sautereau (G.). — Système de métropolitain à voies glissantes 182
Schenck (Rudolf). — Sur la décomposition de l'oxyde de carbone. 277
Schmidt (G.-C.). — Région cathodique obscure . . 391
Schortau (A.). — Contribution à la théorie des paratonnerres. 35
Schulz (Ernst). — Technologie der Dynamo-Maschinen (B) xlvii
Schulze. — Graduation de l'échelle d'un magnétomètre unifilaire (*p*) cxlii

Digitized by Google

SCHUSTER et HEINREICH. — Embrayage électromagnétique 128
SCHWEIDLER (E. von). — Expériences sur le courant photoélectrique dans les ampoules à potassium (*p*) VIII
SCOTT. — Tendances du développement des stations centrales 117
SEITZ (W.). — Variation de l'absorption subie par les rayons cathodiques dans une lame mince d'aluminium avec le potentiel de décharge (*p*) CXXXIX
SHIMIZU (S.). — Voir *Honda* (*K.*) et *Shimizu* (*S.*)(*p*) CXXVIII
SMITH (A.-S.). — Détermination de la chaleur latente de vaporisation par une méthode électrique (*p*). CVIII
SOULIER (Alfred). — Les grandes applications de l'électricité (B). CXX
SPUREK et GIESLER. — Procédé de soudure électrique (*p*) CXVIII
STARK (J.) et REICH (M.). — Sur la pression dans l'arc au mercure (*p*) V
STARKE (M.-H.). — Chute des potentiels dans la conduction d'électricité à travers les gaz (*p*) CXXVI
STASSANO. — Production de l'acier au four électrique. 149
STRASSER (B.). — Voir *Warburg* (E.) et *Strasser* (B.) (*p*). V
STONE. — Système d'éclairage des trains. 141

T

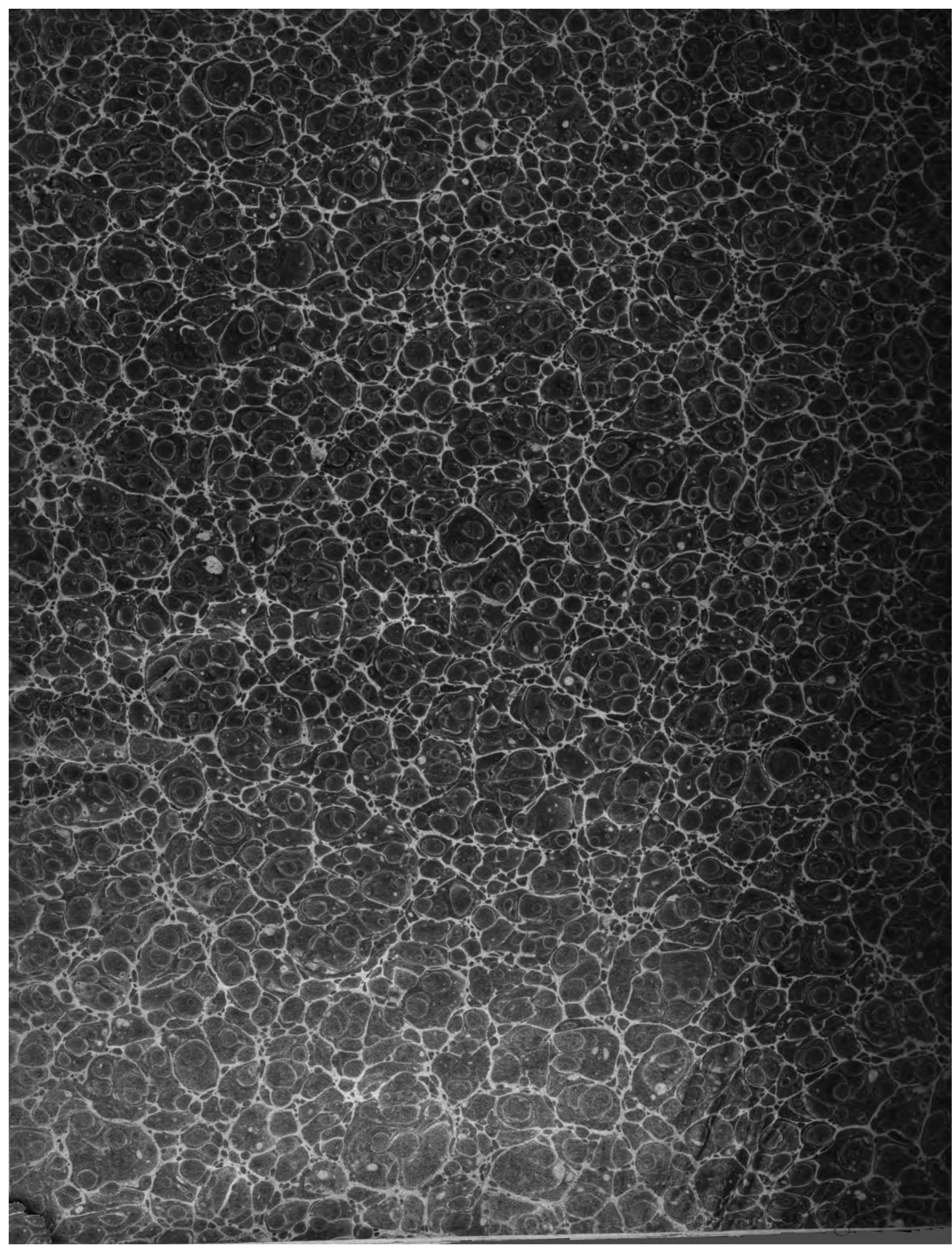
TAITE (C.-D.) et DOWNE (R.-S.). — Comparaison entre les machines à vapeur et les moteurs électriques pour la commande des machines auxiliaires des stations centrales . 436
TARDY (Alfred). — Nouvelle plaque d'accumulateur d'électricité (*b*) IX
TAYLOR (E.-R.). — Sur la préparation du bisulfure de carbone au four électrique 153
TCHIERIEFF (S.). — Propriétés électriques des muscles et des nerfs (*p*) XCV
TEIPER. — Arrêt à distance. 130
TÉROUTE (Auguste), WEILLER (Henri) et CAILLARD (Léon). — Système de montage des plaques d'accumulateurs, évitant toute chute de matière active (*b*). IX
TESLA. — Système de télégraphie sans fil syntone. 186
THOMAS (Percy H.). — Décharges statiques dans les circuits électriques (*p*) CV
THOMSON (J.-J.). — Le radium (*p*). XCIV
TIJMSTRA-BZ (S.). — Conductivité des solutions de sodium dans les mélanges d'alcool éthylique ou méthylique et d'eau (*p*). XCIII
TOMMASINA (Th.). — L'hypothèse des électrons et la corrélation des forces physiques. I. L'électron considéré comme phénomène. II. Théorie électronique des radiateurs et de la gravitation 281, 379
TORCHIO (Philip). — Appareils de sécurité des stations et sous-stations. 119
TRÜB et Cie. — Électrode d'accumulateur (*b*) . . . X
TURPAIN (A.). — La conférence internationale de Berlin sur la télégraphie sans fil 161
Sur l'interruption du circuit primaire des bobines d'induction 406
Quelques brevets sur la télégraphie sans fil. 499

V W Z

VALLET. — Appareil autorégulateur pour le tirage des chaudières à vapeur (*p*). CXXIX
VOIGT (E.). — Mesure des grandes différences de potentiel (*p*). XII
WALKER (Sydney). — L'électricité dans les mines (*p*) CXVII
WALKER (W.-H.). Electrométallurgie de l'or (*p*). LXXXIV
WALSÖE (C.-E.). — Sur les câbles téléphoniques à enveloppe en fils de fer. 465
WALTHER. — Perforation des corps isolants par l'étincelle électrique. CXXXIV
WARBURG (E.) et STRASSER (B.). — Sur les phénomènes présentés à l'égard du courant alternatif par les électrodes dites impolarisables (*p*). V
WATSON, LAIDLAW and Co. — Essoreuse électrique. 121
WEDEKING (E.). — Sur le zirconium colloïdal. . . 40
WEILLER (Henri). — Voir *Téroute* (*Auguste*), *Weiller* (*Henri*) et *Caillard* (*Léon*) (*b*) IX
WERNER VON BOLTON. — Sur la luminescence des ions 319
WIGHTMAN (J.). — Système de protection des survolteurs (*p*) CXXX
WILLIAMSON (A.-D.). — Applications de l'électricité dans les usines et les chantiers maritimes. 196
WITTMANN (Fr.). — Expériences de mesure et expériences de cours sur les décharges des condensateurs et les courants d'induction (*p*). V
WOLCOTT (E.-R.). — Emploi de la polarisation par le courant continu dans la mesure des résistances électrolytiques par la méthode de Kohlrausch (*p*) CVIII
WOODBRIDGE. — Indicateur de phase (*p*). . . . XXXVI
ZEHNDER (L.). — Forme simple de l'interrupteur de Wehnelt 145
Effets nouveaux des radiations connues (*p*). VI
ZELLNER (Julino). — Sur les briquettes et cylindres de bioxyde de manganèse. 462
ZENGHELIS (C.). — Réactions chimiques aux températures les plus élevées. 114
ZENNECK (J.). — Perméabilité magnétique du fer en poudre dans un champ à oscillations rapides (*p*) CXXXIX

Digitized by Google

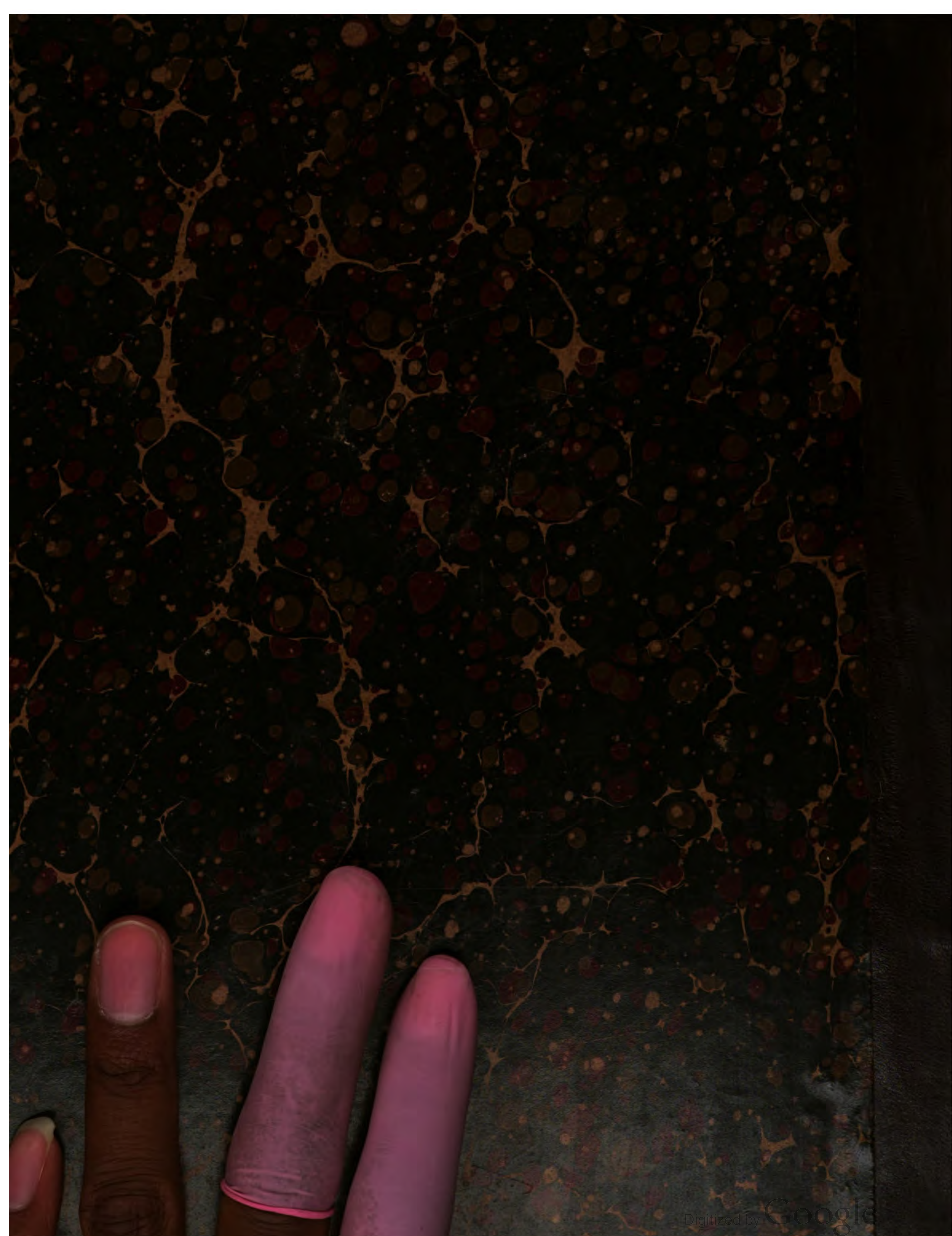
Digitized by Google



Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0482

Digitized by Google


Digitized by Google